

Trabajo Fin de Máster

EVALUACIÓN Y COMPARATIVA DE LOS
MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LLUVIA
BATIENTE SOBRE FACHADAS ESTABLECIDOS
POR LA NORMA ISO 15927-3

ASSESSMENT AND COMPARISON OF
ALTERNATIVE METHODS ESTABLISHED BY ISO
STANDARD 15927-3 FOR THE ESTIMATION OF
WIND DRIVEN RAIN

Autor/es

Francisco Javier Simón Polo

Director/es

José María Pérez Bella

Titulación

Máster en Ingeniería Industrial

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2019

EVALUACIÓN Y COMPARATIVA DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LLUVIA BATIENTE SOBRE FACHADAS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ISO 15927-3

RESUMEN

La penetración del agua atmosférica en las fachadas se produce por la combinación simultánea de un aporte de agua (lluvia batiente o wind-driven rain), y la acción de la presión eólica sobre el cerramiento (driving-rain wind pressure). La norma internacional ISO 15927-3 (UNE-EN ISO 15927-3) establece un procedimiento de cálculo de la lluvia batiente, basado en datos horarios de velocidad de viento e intensidad de precipitación.

La exhaustividad y antigüedad de los datos requeridos (horarios y recopilados durante al menos 10 años), ha impedido la generalización en el uso de esta norma, por lo que ella misma establece un método alternativo de cálculo, basado en el análisis, cada media jornada, de registros sinópticos codificados del tiempo presente. La convergencia entre ambos métodos ha sido únicamente validada para tres estaciones meteorológicas británicas y 4 orientaciones de fachada diferentes, por lo que se pretende profundizar en el análisis de dicha convergencia.

Se pretende caracterizar la exposición a la lluvia batiente mediante este método alternativo, recopilando registros meteorológicos con una antigüedad mínima de 10 años en diversas estaciones españolas situadas en regiones con clima diverso, comparando la validez de sus resultados en relación al cálculo horario.

Tomando como referencia los resultados obtenidos mediante el cálculo basado en datos horarios, se plantearán mejoras que permitan mejorar su precisión, considerando otros intervalos de registro, y se propondrán las correcciones necesarias para mejorar la equivalencia entre ambos métodos.

Este análisis permitirá proporcionar una alternativa de cálculo más fiable para países o regiones sin registros meteorológicos exhaustivos (horarios), ayudando así a caracterizar un fenómeno responsable de múltiples síndromes constructivos en los edificios, que repercute en mayores gastos de mantenimiento, menor rendimiento de la envolvente térmica del edificio y afecciones para la salud de los ocupantes del edificio. Con ello se pretende contribuir a mejorar la estanqueidad actual de las fachadas, permitiendo ajustar sus requerimientos de diseño a las solicitudes reales existentes en cada emplazamiento.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	11
3. ALCANCE.....	12
4. METODOLOGÍA	16
4.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LLUVIA BATIENTE A PARTIR DE DATOS HORARIOS (MÉTODO 1 O DE REFERENCIA)	18
4.2. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LLUVIA BATIENTE A PARTIR DEL MÉTODO ALTERNATIVO (MÉTODO 2)	20
4.3. DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. CÁLCULO DE PERÍODOS DE RETORNO 22	
4.4. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS.....	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1. HIPÓTESIS INICIALES	26
5.1.1 HIPÓTESIS INICIAL SIN RESETEO ANUAL	27
5.1.2 HIPÓTESIS INICIAL CON RESETEO ANUAL	30
5.2. HIPÓTESIS DE MEJORA A.....	34
5.3. HIPÓTESIS DE MEJORA B	37
5.4. RELACIÓN ENTRE ESTACIONES DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA	40
5.5. TABLA RESUMEN Y RESULTADOS DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	43
5.6. RELACIÓN ENTRE CTE Y NORMA UNE-EN-ISO 15927-3.....	47
6. CONCLUSIONES.....	50
7. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS.....	51
8. BIBLIOGRAFÍA.....	52

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de humedad sobre los cerramientos de las edificaciones, así como la penetración del agua sobre los mismos, provocan una reducción en la capacidad de aislamiento de la envolvente térmica del edificio, incrementando los costes tanto energéticos como de mantenimiento en el edificio [1]. También reduce la durabilidad de la edificación, provocando daños en los materiales (roturas, desprendimientos, grietas...). Finalmente, también pueden llegar a afectar a la salud de sus ocupantes (aparición de mohos, alergias, humedades...).



Figura 1.1 Defectos en edificios por efecto humedad. [2]

Por todo ello, ante la necesidad de reducir o limitar los efectos y riesgos generados por la presencia inadecuada de humedad en el interior de los edificios, se introdujo en España la exigencia básica de protección frente a la humedad en el Código Técnico de la Edificación (Documento Básico de Salubridad-Protección frente a la humedad DB-HS1) [3]. Mediante su aprobación en 2006, se establecieron las condiciones de diseño que han de cumplir las fachadas en lo relativo a solicitud por humedad atmosférica. Ante la falta de regulación previa existente, este documento establece un grado de impermeabilidad mínimo para los cerramientos verticales y asigna una solución constructiva para garantizar la estanqueidad del sistema de fachada.

La presencia de agua y humedecimiento sobre los cerramientos verticales de los edificios es debido principalmente a la acción combinada de precipitaciones atmosféricas y de rachas de viento. Para que la precipitación atmosférica impacte sobre la superficie vertical de la fachada, es necesaria, al mismo tiempo, la presencia de una racha de viento que modifique la trayectoria vertical de la lluvia, generando así la incidencia y por tanto el aporte de agua. A este efecto simultáneo se le denomina lluvia batiente (wind-driven rain o WDR). Tras este fenómeno, se sumaría el efecto de la presión eólica simultánea a la lluvia batiente (driving rain wind pressure o DRWP), que contribuye al avance de esta cantidad de agua aportada sobre los materiales de construcción hacia el interior, aumentando los efectos nocivos sobre el cerramiento [4].

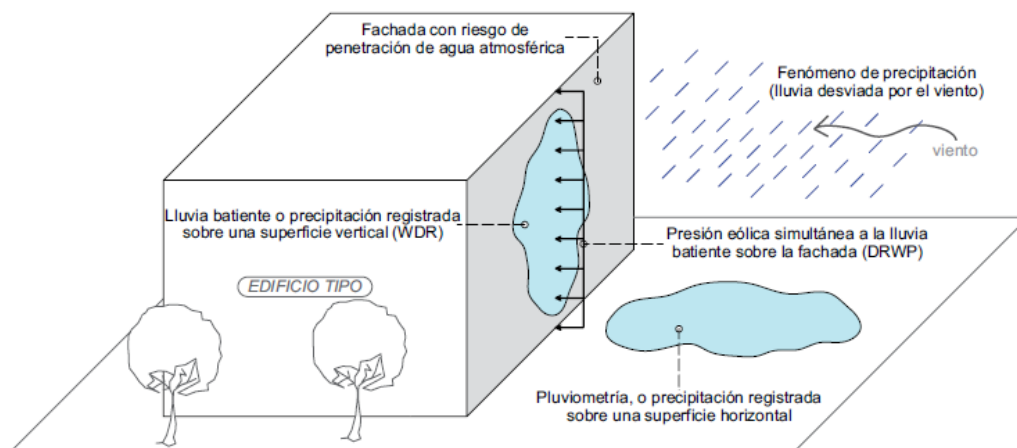


Figura 1.2 Fenómeno de lluvia batiente y presión eólica simultánea sobre fachada del edificio. [1]

Para realizar una correcta estimación de la exposición de fachadas de las edificaciones a la lluvia batiente y la presión eólica simultánea (WDR y DRWP), se han realizado, a lo largo de las últimas décadas, varios estudios de campo y mediciones empíricas a partir de registros simultáneos de intensidad de lluvia, velocidad y dirección del viento. Con ellos, varios países han valorado el riesgo de penetración de agua al que los cerramientos de sus edificios quedan expuestos y han caracterizado las condiciones de esta exposición a la humedad. No ha sido el caso de España, en el que se sigue manteniendo una caracterización poco fiable, en la que no se consideran registros simultáneos de lluvia y viento [4].

Los procedimientos para realizar el cálculo de la lluvia batiente fueron normalizados con la aprobación del estándar internacional ISO 15927-3 en 2009, a partir de un estándar británico previo [6-7]. Con el fin de transponer el estándar internacional al ámbito español, se aprobó en 2011 la norma UNE-EN ISO 15927-3 [8].

A pesar de los desarrollos internacionales en esta materia y de la normalización de los procedimientos destinados a cuantificar los parámetros de WDR y DRWP para la estimación del riesgo de penetración de humedad en fachadas, el CTE DB-HS1 asigna todavía en la actualidad un grado mínimo de impermeabilidad requerido para fachada, basado en los siguientes parámetros climáticos:

En primer lugar, el valor básico de velocidad del viento o valor de velocidad de viento que se espera que sea registrado durante un intervalo de 10 minutos, de media una vez cada 50 años (período de retorno de 50 años). Se trata por tanto de una estimación estadística basada en la Teoría de Valores Extremos [11].

Con este valor básico se determina el grado de exposición al viento al que el cerramiento tendrá que hacer frente (V1, V2 ó V3) y variará según la zona en la que se encuentre el edificio (zona A, B ó C), además de depender de la altura del edificio y la

clase del entorno del edificio (E1 para zonas llanas y expuestas y E0 para zonas urbanas, industriales y forestales).

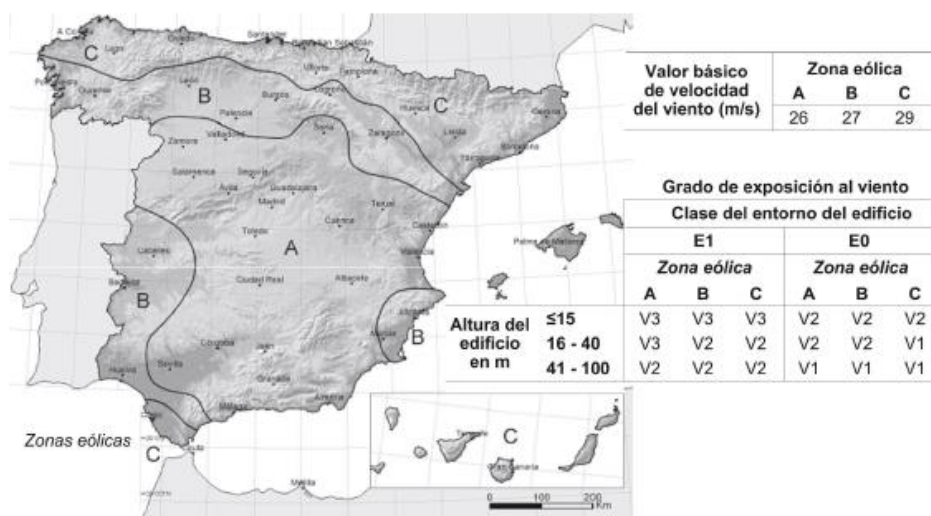


Figura 1.3 Grado de exposición al viento según zona climática A, B ó C.

El segundo de los parámetros hace referencia al valor de precipitación media sobre una superficie horizontal en un año o pluviometría media anual recogida en un emplazamiento.

El grado de impermeabilidad mínimo requerido para la fachada, dependerá del grado de exposición al viento (V1, V2, V3) obtenido previamente y de una asignación zonal de la pluviometría media en mm/año. Los dos parámetros se combinan para caracterizar el riesgo de penetración de agua.

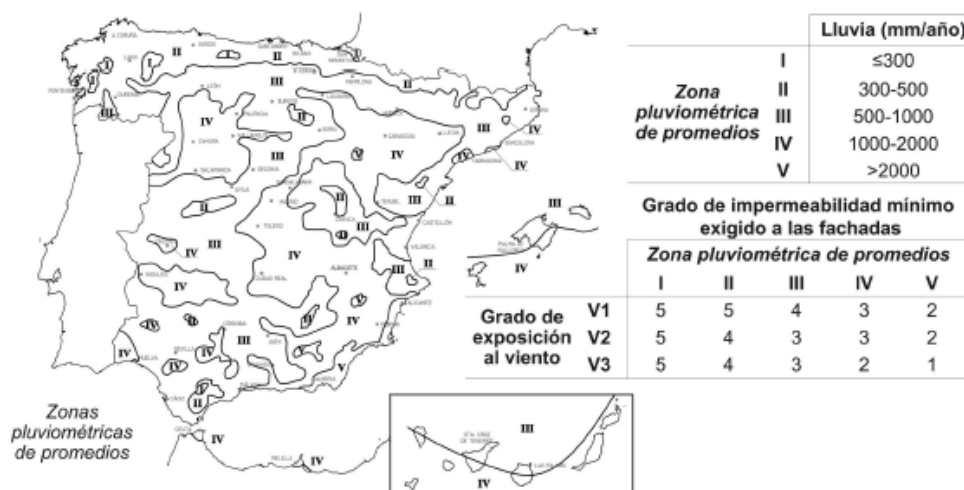


Figura 1.4 Grado de impermeabilidad mínimo y zonas pluviométricas del territorio español

Finalmente, a partir del grado de impermeabilidad obtenido, se establecen las condiciones de diseño requeridas por el DB-HS1, asignando diferentes soluciones constructivas aceptables para hacer frente a cada solicitud. No obstante, la

caracterización de la exposición mediante este procedimiento presenta severas deficiencias conceptuales y metodológicas enumeradas a continuación [4]:

- El valor de pluviometría queda referido a una exposición anual, mientras la velocidad del viento se refiere al valor máximo que puede obtenerse en una duración de 10 minutos, por lo que no quedan determinados en un intervalo de tiempo común.
- El valor de pluviometría se refiere a un valor medio anual (basado en registros históricos), mientras que la velocidad del viento se obtiene de un valor máximo estimado (no real) para un período de retorno de 50 años, por lo que no son valores cuantitativamente relacionables.
- El parámetro de precipitación no valora la acción simultánea del viento, por lo que no es representativo de la cantidad de agua realmente recibida por el cerramiento.
- El parámetro de exposición al viento no tiene en cuenta la presión eólica que se produce de forma simultánea a la precipitación, por lo que no valora la intervención de la presión eólica para la penetración del agua en la fachada.
- Al ser un método basado en mapas zonificados y asignaciones tabuladas, no permite asignar cierto valor numérico y cuantitativo a la exposición que se obtiene en las fachadas, por lo que no permite comparar con exactitud la exposición de varios emplazamientos, ni optimizar la solución constructiva necesaria para garantizar su estanqueidad.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo es validar la equivalencia y convergencia de los procedimientos alternativos de cálculo establecidos por la Norma UNE-EN ISO 15927-3, para determinar la exposición de las fachadas de los edificios ante la lluvia batiente, en un mayor número de emplazamientos y orientaciones de fachada que las analizadas originalmente en Reino Unido, y para emplazamientos con una climatología muy diversa [8].

Los tres emplazamientos británicos analizados (aeropuertos de Londres, Manchester y Edimburgo), representan ciudades con una pluviometría similar (en torno a 750 mm/año). Además, las 4 orientaciones de fachada analizadas en cada uno de ellos (N, S, E y O), apenas proporcionan 12 puntos mediante los que evaluar la convergencia entre ambos métodos de cálculo.

Considerando como referencia el método basado en datos horarios, dada su mayor aptitud para considerar la simultaneidad de los eventos de lluvia y viento sobre la fachada, se determinará el grado de precisión que aporta el método alternativo, determinando el coeficiente de determinación asociado a la correlación de resultados de ambos métodos. Como se ha visto anteriormente, el primero de los métodos de cálculo que indica la norma, requiere disponer de gran cantidad de valores climatológicos tomados periódicamente cada hora, mientras que el segundo método sólo requiere datos tomados cada “media jornada”.

El análisis de emplazamientos españoles sometidos a climatologías diversas, similares o no a las de Reino Unido, también permitirá analizar la validez del método alternativo fuera de Reino Unido. Concretamente se analizarán datos climatológicos de estaciones pertenecientes a las Comunidades Autónomas de Galicia, La Rioja y Canarias.

También se pretende clarificar la metodología de la norma ya que para aplicar el método alternativo no queda correctamente indicado si la acumulación de humedad sobre cada orientación de fachada debe acumularse indefinidamente o debe reiniciarse su cálculo cada año.

Con los resultados obtenidos, se propondrán posibles mejoras funcionales para este método alternativo, que mejoren su precisión y reduzcan el esfuerzo de cálculo necesario para su análisis. Validar y mejorar este método alternativo en España, supondría una gran simplificación en cuanto a manejo de datos necesario y articularía la posibilidad de determinar la exposición a la lluvia batiente en emplazamientos donde no se registran datos con precisión horaria.

Finalmente, se pretende comparar estos resultados con la aplicación actual del Código Técnico de la Edificación, que no realiza una caracterización adecuada de las solicitudes de las fachadas, lo que puede afectar tanto al bienestar de las personas como a la durabilidad y eficiencia de las construcciones.

Todo ello ha de contribuir a una mejora normativa y en última instancia, a lograr una adecuada estimación de la solicitación por humedad prevista en las fachadas españolas, permitiendo mejorar el diseño de las soluciones constructivas de fachada para evitar los efectos adversos que la penetración de agua atmosférica tiene sobre las mismas.

3. ALCANCE

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la presencia de agua y humedecimiento sobre los cerramientos verticales de los edificios es debido principalmente a la acción combinada de precipitaciones atmosféricas y de rachas de viento, efecto conocido como lluvia batiente o “*wind-driven rain*” (WDR). Para cuantificar la sollicitación total del cerramiento ante la humedad, se debe sumar el fenómeno de presión eólica simultánea a la lluvia batiente (*driving rain wind pressure* o DRWP) que tiene en cuenta el avance de dicha humedad a través del cerramiento [1].

El estudio presente contempla el efecto de la lluvia batiente en diferentes emplazamientos, según la Norma UNE-EN ISO 15927-3:20011, quedando fuera del alcance el efecto sobre el cerramiento conocido como presión eólica simultánea a la lluvia batiente (para cuya caracterización todavía no se ha publicado normativa de referencia alguna).

Para el desarrollo del estudio, se han analizado estaciones meteorológicas de tres Comunidades Autónomas, concretamente Galicia, Islas Canarias y La Rioja, siendo cuatro el número de estaciones analizadas en cada una de ellas, repartidas en distintas zonas del territorio de modo que se pueda obtener la mayor variedad de climatologías dentro de cada comunidad.

Aunque España dispone de un gran número de estaciones meteorológicas, no todas ellas registran los datos con la misma precisión y frecuencia, además de que no en todas ellas es posible encontrar datos registrados de los últimos 10 años (mínimo necesario según la Norma para la aplicación del método de referencia) ya que están disponibles desde hace pocos años. Además, aunque registren datos desde hace 10 años, pueden existir períodos en los que no se registraron datos o lo hicieron de manera discontinua, debido a diversos factores (averías de la estación, mantenimiento, errores en la transmisión de datos...). En general, el registro de estos datos exhaustivos se realiza mediante estaciones meteorológicas automáticas, cuya implantación en nuestro país empezó, de forma progresiva, entre 2000 y 2010.

Por ello, para obtener resultados contrastables en el estudio, se han seleccionado estaciones que registren datos desde 2008 hasta 2017 (ambos inclusive), con una precisión diez-minutal o semi-horaria (según la fuente que suministra los datos), y con una validez de datos registrados superior al 90% (datos disponibles sobre el total de intervalos comprendidos en el periodo analizado).

Todos los datos climatológicos empleados para el estudio de cada estación meteorológica se han recogido a partir las páginas web oficiales del gobierno de cada Comunidad Autónoma, facilitando éstas, entre otros, datos de pluviometría, velocidad y dirección del viento y humedad relativa [9-10-11]. Para el presente estudio se han tomado los datos ofrecidos por estas fuentes, con una precisión máxima de intervalo de registro de 10 ó 30 minutos. En la tabla siguiente se muestran las estaciones analizadas por Comunidad Autónoma, la validez en el registro de datos en cada una de ellas y la precisión del intervalo temporal con la que se han registrado.

Comunidad Autónoma	Estación	Validez de datos (%)	Intervalo de registro de datos
Galicia	Aloia (Pontevedra)	99,72%	10 minutos
	Malpica (La Coruña)	99,60%	10 minutos
	O Xipro (Lugo)	99,48%	10 minutos
	Verin-Vilamaior (Orense)	99,85%	10 minutos
La Rioja	Agoncillo	98,22%	30 minutos
	Calahorra	95,35%	30 minutos
	Cervera	98,25%	30 minutos
	Pazuengos	98,95%	30 minutos
Islas Canarias	Buenavista del Norte (Tenerife)	94,77%	30 minutos
	Pozo Negro (Fuerteventura)	98,17%	30 minutos
	San Sebastián de La Gomera	95,66%	30 minutos
	Vecindario (Gran Canaria)	91,78%	30 minutos

Tabla 3-1 Estaciones meteorológicas analizadas según CC.AA. Precisión e intervalo de los datos proporcionados por la fuente externa.

Además, se realizará el estudio de exposición a la lluvia batiente para cada posible dirección de fachada en ($^{\circ}$), completando la circunferencia desde los 0° hasta los 360° analizando intervalos de 15° . Se considera adecuado el estudio para direcciones de fachada cada 15° , siendo menos preciso cuanto mayor sea el intervalo. En caso de hacer intervalos menores a 15° , se obtendrían resultados para un mayor número de orientaciones de fachada. En este caso, no se ha reducido el intervalo debido a la lentitud del proceso de análisis de las estaciones a través del software informático Excel.

El presente estudio realiza el análisis de diferentes climatologías según la zona en la que se encuentran las estaciones, indicándose, a continuación, las características principales de los parámetros comentados y climatología de las regiones objeto de análisis.

La Norma UNE-EN ISO 15927-3 ha sido ampliamente validada para la climatología de Reino Unido (la norma deriva de un British Standard), caracterizada por un clima cálido y templado, con una significativa cantidad de lluvia repartida durante todo el año, incluso para el mes más seco [7-8]. La temperatura promedio es de $9,6^{\circ}\text{C}$. La latitud y proximidad al océano significa para el Reino Unido experimentar vientos de gran intensidad, siendo más fuertes cerca de las costas. La media de precipitaciones es de 700 mm/año.

Según la clasificación Köppen, la climatología de Reino Unido se incluye en el grupo Cfb, correspondiente a un clima templado húmedo con veranos cálidos. Es un clima con inviernos fríos y templados (media de -3°C a 18°C) y veranos frescos (media superior a 10°), característico de la fachada atlántica europea, desde el sur de Noruega hasta el norte de la Península Ibérica [16-17].

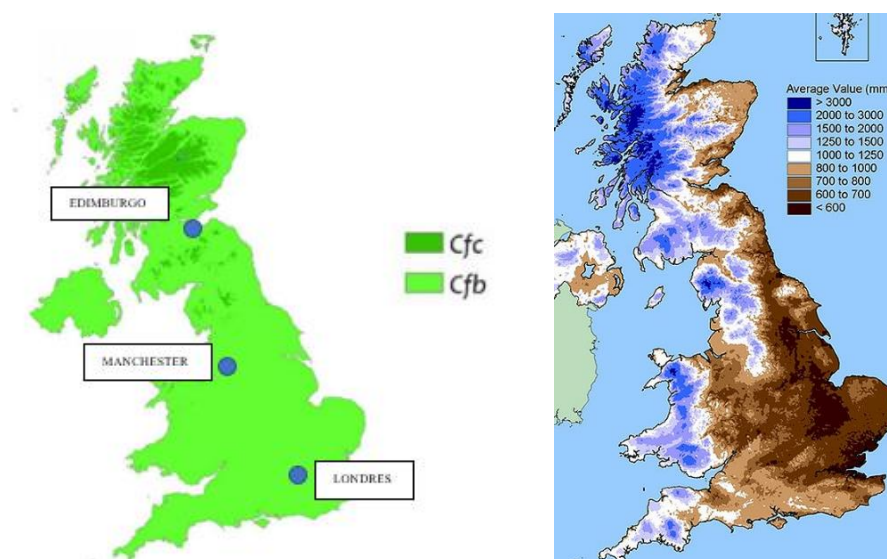


Figura 3.1 Clasificación Köppen y precipitación media [mm] en Reino Unido

Respecto a Galicia, el clima es cálido y templado, con considerables lluvias siendo mucho mayores en invierno que en verano, con una media de 1100 mm/año. La temperatura media es de 13° C. Los vientos con mayor humedad proceden del sur-oeste y son más fuertes cerca de las costas. Según la clasificación Köppen, Galicia incluye regiones en el grupo Cfb y Csb, siendo el grupo Cfb idéntico al de Reino Unido y el grupo Csb similar pero caracterizado por veranos más secos. Como se aprecia a continuación, la gran parte de Galicia pertenece al grupo Cfb [18].

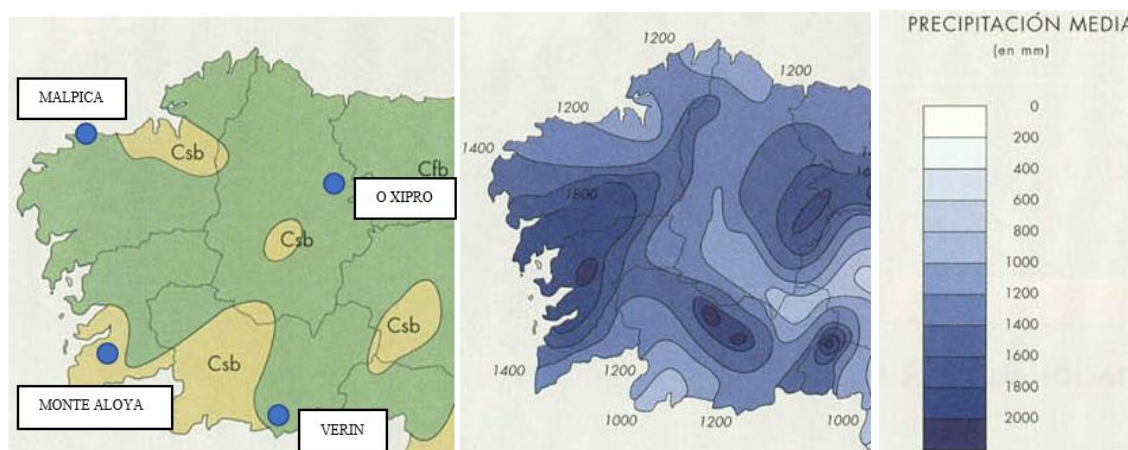


Figura 3.2 Clasificación Köppen y precipitación media [mm] en Galicia

La comunidad autónoma de La Rioja posee un clima cálido y templado. Alterna zonas de significativas precipitaciones con zonas con escasa precipitación anual, siendo la media de 520 mm/año. La temperatura media es de 12,5 °C. En La Rioja aparecen fuertes vientos frescos y secos de componente N-O. Según clasificación Köppen, su territorio se incluye en el grupo Csb, con regiones Cfb [19].

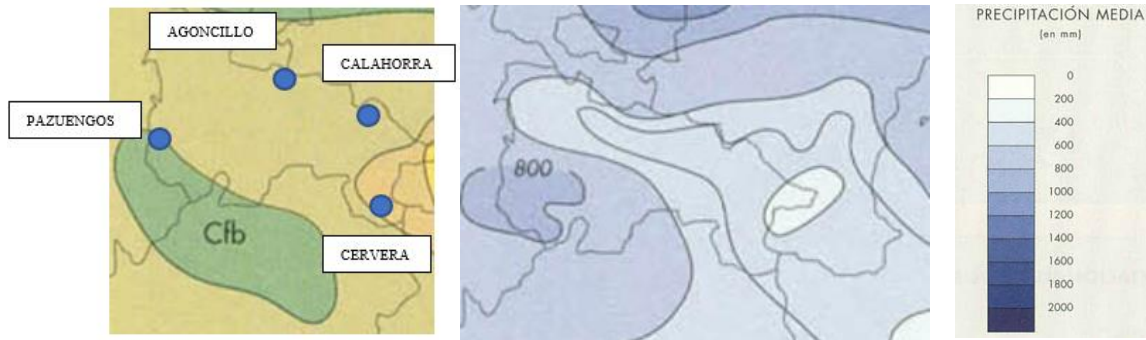


Figura 3.3 Clasificación Köppen y precipitación media [mm] en La Rioja

Por último, las Islas Canarias poseen un clima mayoritariamente desértico. Durante el año apenas hay precipitaciones, siendo la media anual de 150 mm/año. La temperatura media es de 20° C. Los vientos dominantes son del N-E o del N, siendo muy suaves durante el otoño e invierno y de mayor intensidad en verano y primavera. Según la clasificación Köppen, las Islas Canarias se incluyen en el grupo BWh, BSh y BSk, muy diferentes a la del Reino Unido y caracterizados por inviernos suaves o fríos y veranos muy cálidos con precipitaciones muy escasas o inexistentes [20].

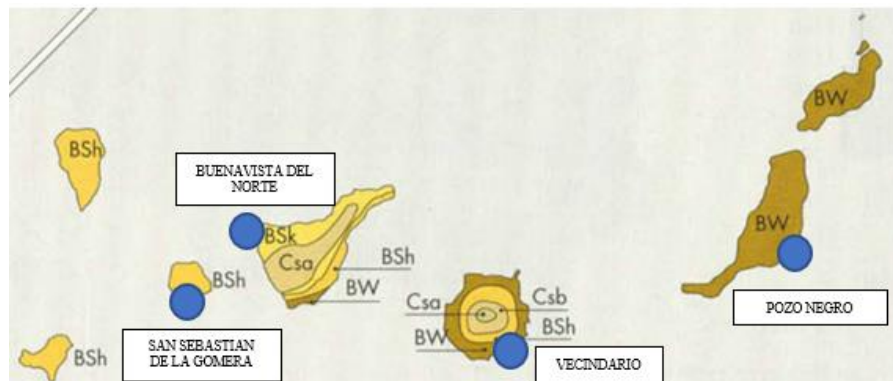


Figura 3.4 Clasificación Köppen en las Islas Canarias

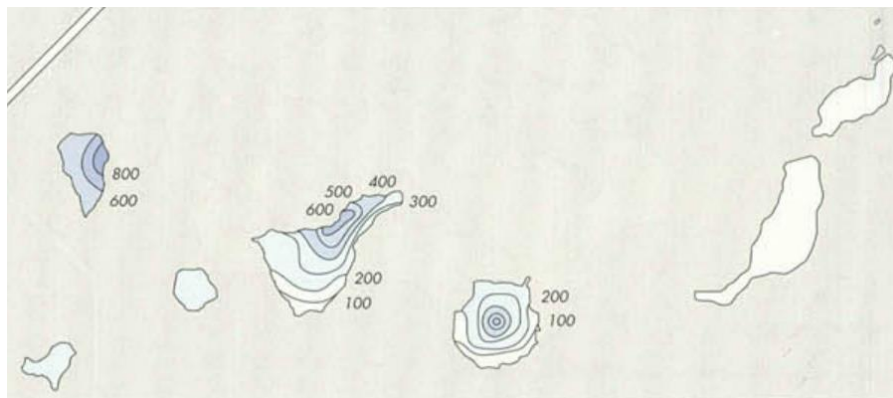


Figura 3.5 Precipitación media en las Islas canarias [mm]

4. METODOLOGÍA

En la actualidad el estándar internacional ISO 15927-3:2009, traspuesto en la norma española UNE-EN ISO 15927-3:20011 posibilita un análisis direccional del aporte de agua recibido sobre cada posible orientación del cerramiento. Además, incluye dos métodos de cálculo, uno a través de valores climatológicos horarios recogidos durante, al menos, 10 años (y preferiblemente 20 o 30) y un segundo método alternativo y teóricamente equivalente, en el que los datos disponibles se dividen en las denominadas medias jornadas o períodos de 12 horas, de utilidad para aquellas localizaciones donde no se disponen de valores climatológicos horarios o éstos no han sido recogidos durante un período mínimo de 10 años [6-8].

El primer método se sirve de una formulación semi-empírica que utiliza datos climáticos horarios de viento y lluvia. Este procedimiento se basa fundamentalmente en la norma BS 8104, creada a partir de registros climáticos sobre edificios en diferentes localizaciones del Reino Unido [7]. Los datos empleados para los cálculos deben haber sido registrados siguiendo los métodos establecidos por la Organización Meteorológica Mundial [21]. Por este motivo, se estima una correcta aplicación de este procedimiento a lugares con una climatología similar a la del Reino Unido, recomendando verificar su aplicabilidad en regiones con climas diferentes.

A través de datos horarios coincidentes de viento y precipitación, esta formulación es capaz de estimar el aporte de lluvia batiente sobre diferentes direcciones de fachada, considerando dos intervalos temporales de exposición para caracterizar la exigencia de lluvia batiente sobre el cerramiento [1]:

1º A largo plazo, caracterizando el humedecimiento promedio anual al que queda sometida la superficie del cerramiento.

2º A corto plazo, caracterizando el humedecimiento máximo que el cerramiento puede acumular puntualmente durante un intervalo de humedecimiento (antes de que se produzca la evaporación). Este factor es debido a acción puntual de tormentas de elevada intensidad que provocan episodios de penetración del agua sobre el material.

Para su aplicación, la norma UNE define al periodo de humedecimiento como aquel que se inicia al recibir la fachada un aporte de lluvia batiente sobre su superficie, y que termina cuando han pasado 96 horas sin aportes del mismo tipo. Considera así que la evaporación de la humedad de la fachada tras 96 horas sin aporte de agua es suficientemente representativa como para reducir el nivel de humedecimiento general de los materiales [4]. En el siguiente gráfico se puede observar un esquema de esta definición, con un periodo de humedecimiento y los períodos de evaporación que lo confinan.

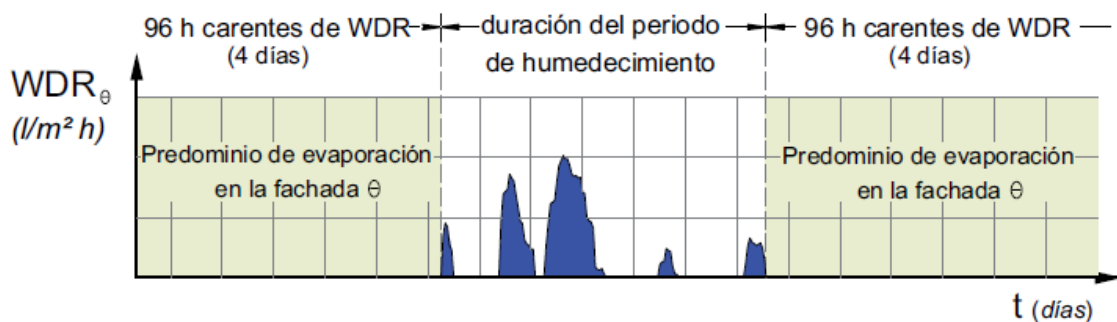


Figura 4.1 Duración del período de humedecimiento- evaporación [días] según aporte de lluvia batiente [$l/m^2 h$] sobre el cerramiento

En el presente estudio, respecto al primer método, se realizará el cálculo a largo plazo de la lluvia batiente, comparándolo con el método alternativo que propone la norma. De este modo se descarta el cálculo a corto plazo ya que el mismo supone un análisis mucho más exhaustivo y difícil de implementar teniendo en cuenta los períodos de humedecimiento.

Sin embargo, la utilización de este estándar internacional queda limitada en un importante número de países, incluyendo España, dada la imposibilidad de acceder a registros horarios que se hayan recopilado durante una antigüedad mínima de 10 años en la mayoría de los emplazamientos. Por ello, se han planteado procedimientos alternativos para cuantificar la exposición a la lluvia batiente con datos más convencionales, como se muestra en el segundo método de la Norma UNE-EN ISO 15927-3:20011 [8].

Este método se basa en la interpretación del código meteorológico de tiempo presente (una codificación de observaciones sinópticas realizadas en las estaciones de acuerdo a los estándares de la Organización Mundial Meteorológica), y en mediciones medias de velocidad de viento y su dirección [22].

El método define una forma de calcular el tiempo de humedecimiento durante el que se humedece un material, con una probabilidad del 10% de que se sobrepase en cualquier año, lo que es equivalente al que se produce con una recurrencia o período de retorno de 10 años.

El procedimiento del método alternativo divide los datos en períodos de doce horas, denominados “media jornada”. Según se produzcan unas condiciones climatológicas determinadas u otras, dependiendo de la precipitación, velocidad y orientación de fachada, se identificará cada una de estas medias jornadas como “húmeda”, “seca” o “neutra”, asignando cada una un valor de 1, -1 o 0 respectivamente.

A través de una serie temporal acumulativa de valores sucesivos de las medias jornadas, con condición que nunca puede ser inferior a 0, se deduce un valor máximo para cada año y orientación de muro. La distribución acumulativa del máximo anual durante N años de disponibilidad de datos meteorológicos se ajusta mediante la función de Gumbel para obtener el período de humedecimiento máximo con un período de retorno de 10 años para cada posible orientación de fachada.

Respecto a la aplicación de la Norma UNE-EN ISO 15927-3:20011, ambos procedimientos no serán de aplicación en [8]:

- Zonas montañosas con acantilados abruptos o gargantas profundas
- Zonas en las que más del 25% de lluvia anual procede de fuertes tormentas
- Zonas y períodos en los que gran parte de precipitaciones son nieve o granizo

Para la aplicación de ambos métodos, es importante que, siempre que sea posible, las mediciones sean realizadas directas de la lluvia, especialmente en zonas montañosas.

La aplicación del método alternativo según la Norma queda muy indeterminada ya que no queda claramente explicada la forma en que debe realizarse. Esta indeterminación viene dada a que no indica de forma concisa hasta dónde se debe realizar la secuencia acumulativa, es decir, si se acumula la humedad de las medias jornadas indefinidamente o si el cómputo de esta debería iniciarse cada año.

El cálculo de la lluvia batiente, empleando ambos métodos, es validado y de aplicación, según establece la norma, para climas similares a los del Reino Unido. Por ello, la metodología de trabajo incluye el cálculo para tres comunidades autónomas españolas con climas variados.

4.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LLUVIA BATIENTE A PARTIR DE DATOS HORARIOS (MÉTODO 1 O DE REFERENCIA)

A través del primer método se realiza un cálculo más preciso ya que se efectúa a partir de registros tomados con una frecuencia horaria, que permiten identificar con gran precisión la simultaneidad de registros de lluvia y velocidad y dirección de viento.

Según la Norma UNE-EN ISO 15927-3 , para cualquier emplazamiento que disponga de registros horarios de precipitación o cantidad de lluvia, de velocidad del viento y dirección del mismo, durante al menos 10 años, el volumen de agua promedio o lluvia batiente media anual (I_A) que se estima que reciba o impacte sobre una fachada con una determinada orientación (θ) se obtiene a partir de la siguiente expresión [8]:

$$I_A = \frac{2}{9} \frac{\sum v^{\frac{8}{9}} \cos(D - \theta)}{N} \left[\frac{l}{m^2 \cdot \text{año}} \right]$$

Figura 4.2 Ecuación de cálculo de lluvia batiente anual sobre fachada a una determinada orientación

Donde “v” representa la velocidad media del viento en m/s a una altura de 10 metros sobre el terreno, con una dirección media “D”. La intensidad de lluvia recogida sobre la superficie horizontal queda indicada a través del parámetro r (l/m^2). Además, dicha expresión añade un coeficiente de ajuste empírico “k”, con un valor considerado de 2/9 (s/m). Este coeficiente corresponde de forma aproximada, con la inversa de la velocidad terminal de caída de las gotas de precipitación, tal y como posteriores investigaciones han identificado.

La lluvia batiente promedio anual I_A ($l/m^2 \cdot \text{año}$) queda determinada en la ecuación anterior, considerando los registros horarios dentro de un período de N años, los cuales serán 10 en el estudio realizado.

También se realiza el estudio para orientaciones de fachada (θ) tomadas cada 15° . De este modo quedará caracterizado de forma independiente el aporte de agua sobre cada posible fachada de edificio.

Esto obliga a realizar un cálculo diferenciado e independiente para cada posible orientación, incrementando sobremanera el esfuerzo de cálculo necesario para caracterizar la lluvia batiente en cada emplazamiento. Este cálculo, aunque resulte más costoso de llevar a cabo, proporcionará unos resultados más completos y de mayor precisión que los ofrecidos por la Norma para las estaciones británicas, la cual sólo evalúa 4 orientaciones diferentes de fachada (Norte, Sur, Este y Oeste).

Aunque el cálculo del índice de lluvia batiente anual I_A ($l/m^2 \cdot \text{año}$) se calcule cada hora y para cada dirección de fachada de 0 a 360° , sólo se podrán considerar válidas para cada orientación, los registros en los que el viento sopla contra el muro analizado, por lo que se tendrá en cuenta dicho cálculo en las horas en las que el valor $\cos(D - \theta)$ sea positivo. En otros casos, la lluvia impacta sobre otras orientaciones de fachada, sin aportar lluvia batiente sobre la orientación que es objeto de análisis.

Una vez realizado el análisis mediante el primer procedimiento considerado como referencia en cada emplazamiento debido a la precisión de los datos climáticos empleados, se obtendrá una distribución del índice de lluvia batiente I_A ($l/m^2 \cdot \text{año}$) para cada orientación de fachada (θ) de $0-360^\circ$ con intervalos de 15° . A partir de este perfil de referencia, se realizará la comparación con el segundo método.

Para el desarrollo del estudio, se han empleado diferentes variables climatológicas recopiladas a partir de fuentes oficiales. Entre todos los datos que se pueden obtener de los registros de una estación se han empleado los siguientes:

El primero hace referencia a la precipitación, representando la cantidad de agua acumulada en la superficie horizontal durante el tiempo que transcurre hasta que se realiza el registro (10 minutos ó 30 minutos según estación). En sistema internacional queda indicado en mm ó l/m^2 , unidades empleadas para realizar los cálculos. Para el cálculo del índice de lluvia batiente según la Norma UNE-EN ISO 15927-3, se requieren datos de precipitación horarios por lo que éstos se obtendrán realizando el sumatorio de toda la precipitación acumulada en 6 intervalos de 10 minutos o en 2 intervalos de 30 minutos. Del mismo modo se obtendrá la precipitación acumulada para el método alternativo basado en el estudio de medias jornadas.

El segundo registro analizado se refiere a la velocidad del viento, expresado generalmente en km/h, aunque requiere la conversión a m/s ya que es la unidad utilizada para el cálculo. Este parámetro queda indicado en cada instante en el momento del registro (cada 10 ó 30 minutos) por lo que para obtener datos horarios se realizará la media aritmética de todos los registros de viento cada 10 ó 30 minutos. Además de la velocidad, se registra la dirección del viento (3er parámetro), expresado en grados ($^\circ$), cuyo cálculo horario se obtendrá a partir de la suma vectorial de cada uno de los ángulos registrado en cada intervalo de tiempo inferior.

4.2. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LLUVIA BATIENTE A PARTIR DEL MÉTODO ALTERNATIVO (MÉTODO 2)

Según la Norma UNE-EN ISO 15927-3, este método alternativo se empleará cuando no se disponga de registros climáticos de viento y lluvia con una frecuencia horaria necesaria para emplear el primer método [8]. Este procedimiento, basado en un método cualitativo, define una forma de calcular el período durante el cual se humedece un material.

En este método los datos de los que se dispone quedan divididos en períodos de doce horas, es decir, de 07:00-18:00 y de 19:00-06:00. Estos períodos quedan denominados como medias jornadas.

A partir de los datos de lluvia, viento (velocidad y dirección) y humedad relativa codificados a lo largo de cada media jornada, se define cada una de ellas según se cumplan una serie de condiciones en media jornada “húmeda”, media jornada “seca” o media jornada “neutra”.

Los datos obtenidos para este método se obtienen a partir del código meteorológico de tiempo presente, un estándar de codificación de la Organización Meteorológica Mundial en el que cada variable o parámetro viene determinada por un conjunto de letras y números distintivos, de forma que se pueden extrapolar de él todos los valores registrados de forma sinóptica cada cierto tiempo (habitualmente 3, 6 u 8 horas según país) [21-22]. Para mayor información acerca de este código, puede consultarse al Anexo 3.

Para el cálculo a partir del método alternativo se necesita el uso del cuarto parámetro, obtenido de las fuentes externas. Este constituye la humedad relativa (HR), expresada en tanto por ciento (%), la cual, sólo se empleará en este método alternativo según la Norma UNE-EN ISO 15927-3, para la caracterización de la media jornada en “húmeda”, “seca” ó “neutra”.

Todos los parámetros empleados en el método alternativo se obtienen a partir del código meteorológico, en el que cada valor de cada parámetro viene definido mediante un código alfanumérico estandarizado. En el presente estudio se han empleado los registros disponibles de las fuentes externas en intervalos diez minutos o treinta minutos para el cálculo de éste método sin necesidad de pasar por el procedimiento que se emplearía en la realidad de codificación-descodificación del código, ya que los datos estaban directamente disponibles.

Según la Norma, se define una media jornada como “húmeda” cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Dentro de la media jornada se producen más de 4 mm de precipitación sobre la superficie
- Existe presencia de precipitación en, al menos, tres de las cinco observaciones que se realizan durante la media jornada, realizada cada una de ellas cada 3 horas, es decir, a las 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 y 18:00 en la primera media

jornada y 18:00, 21:00, 00:00, 03:00 y 06:00. Cada observación se realiza a partir de la media de los datos recopilados durante las 3 horas.

- La velocidad media del viento durante la media jornada es mayor a 2 m/s
- La dirección media del viento durante la media jornada se encuentra dentro del intervalo $\pm 60^\circ$ respecto a la perpendicular al muro, lo que significa que el valor absoluto de $D-\theta \leq 60$

Cuando una media jornada se considere húmeda, significará que la superficie de la fachada se humedecerá por efecto de la lluvia batiente, lo que producirá la penetración hacia el interior del cerramiento.

Queda definida una media jornada como “seca” cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Los registros de humedad relativa atmosférica media durante la media jornada es inferior al 70%
- Se registra una velocidad media del aire durante la media jornada mayor que 2 m/s
- La dirección media del viento durante la media jornada se encuentra dentro del intervalo $\pm 60^\circ$ respecto a la perpendicular al muro, lo que significa que el valor absoluto de $D-\theta \leq 60$.

Cuando la media jornada cumpla las condiciones que la clasifiquen como “seca”, se produce la evaporación del agua en la superficie de la fachada.

La media jornada queda definida como “neutra” cuando no se cumplen ni las condiciones necesarias para clasificarla como “húmeda” ni las condiciones que la caracterizan como “seca”.

Si la media jornada es considerada como “húmeda” se asigna el valor “+1” a la serie acumulativa. En caso de considerarse la media jornada como “seca” se asignará un valor negativo de “-1” a la serie, siendo este valor “0” en caso de media jornada “neutra”.

Se realiza la serie acumulativa contabilizando las medias jornadas durante el período de 10 años, añadiendo valores sucesivos, con la condición de que la acumulación de valores de las medias jornadas nunca pueda ser inferior a “0”. Dicha acumulación se evalúa para cada año y cada orientación del muro con el fin de analizar cada orientación de fachada durante el período completo de 10 años.

Sin embargo, la Norma no aclara si la serie acumulativa debe reiniciarse cada año para tener en cuenta el humedecimiento individual de cada año o debe acumularse indefinidamente durante el período total de años. Este aspecto puede generar problemas en emplazamientos en los que el cómputo anual de medias jornadas “húmedas” supera al de medias jornadas “secas” y se produce una acumulación continuada en la que la acumulación de cada año se acumula al siguiente, caso que parece no ser adecuado si la comparación se hace con el método de referencia que tiene en cuenta la humedad anual.

Además, a pesar de que el método contabiliza la exposición en medias jornadas (cada 12 horas), en realidad recurre a datos tomados cada 3 horas los cuales son recopilados como el promedio de mediciones realizadas en intervalos más cortos, dependientes de cada estación. Por ello cabe plantearse la posibilidad de reducir la cantidad de datos empleados en el método si finalmente sólo se va a tener en cuenta la media de valores cada 12 horas.

Una vez realizada la serie acumulativa para cada año y orientación de fachada, se deducen los valores máximos anuales, los cuales equivalen al período de humedecimiento más largo existente sobre la superficie de la fachada en cada año analizado.

Estos máximos anuales de la distribución acumulativa realizada durante un período de 10 años, se ajustan a través de la función de Gumbel, empleada para obtener el período de humedecimiento máximo esperable con una recurrencia de 10 años (es decir, aquel que se produciría una vez cada diez en la estación meteorológica; periodo de retorno de 10 años). Dicha función se emplea en cada serie acumulativa, de modo que se obtiene el máximo humedecimiento con período de retorno de 10 años para cada orientación de fachada.

4.3. DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. CÁLCULO DE PERÍODOS DE RETORNO

La función de Gumbel es utilizada para calcular valores extremos dentro de una distribución por lo que es comúnmente empleada para hacer una estimación de la probabilidad de que un evento aleatorio suceda en un momento determinado o en un intervalo de tiempo concreto [14]. Por ello, también es muy común su uso en la predicción de factores climáticos, como en el presente estudio y ampliamente utilizado en ingeniería de infraestructuras hidráulicas y obra civil.

La distribución de Gumbel constituye una aproximación de la Teoría de Valores Extremos, rama de la estadística que se encarga de estudiar con qué probabilidad aparecen los valores más extremos examinados. Mediante su uso, se puede generar un indicador para medir la inestabilidad en las zonas de máximos [13].

En el presente estudio se ha empleado la distribución de Gumbel (tal y como establece la Norma UNE-EN ISO 15927-3, en el segundo procedimiento para cálculo de lluvia batiente a partir del método alternativo). A partir de la serie acumulativa de medias jornadas, se obtiene un máximo cada año, equivalente al período de humedecimiento más largo. Sin embargo, se debe aplicar la distribución de Gumbel a dicha secuencia acumulativa, ya que, con ella, se tendrán en cuenta los valores máximos que se esperan sean superados de media cada N años (10 en el caso del presente estudio, como indica la norma) [8-14].

Para ampliación de información acerca de la aplicación matemática del método de Gumbel empleado en el presente estudio, se puede consultar el Anexo 2, donde aparece su formulación y aplicación de forma más detallada.

4.4. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS

Una vez realizado el cálculo de la lluvia batiente a partir de cada uno de los métodos propuestos por la Norma UNE-EN ISO 15927-3, sobre cada estación meteorológica y posible orientación de fachada, se procede a realizar la comparativa entre ambos.

Para ello se emplea el coeficiente de correlación R^2 , un coeficiente estadístico comúnmente empleado para probar una hipótesis, el cual nos permite caracterizar la relación fuerte o débil que existen entre dos variables, en este caso, los resultados obtenidos mediante los dos métodos propuestos por la Norma [24].

Con ello, se pretende observar la relación que existe entre ambos métodos y comprobar si, a partir de un método que emplea menor cantidad de datos, se puede extrapolar mediante una regresión lineal a un método más exhaustivo que emplea mayor cantidad de datos climáticos. Y también, si esa correlación es extrapolable a otras climatologías con condiciones muy diferentes a las de Reino Unido.

La metodología empleada en el presente estudio para realizar la comparación, consiste en representar gráficamente los valores del índice de lluvia batiente I_A obtenidos a partir del método alternativo en el eje Y, representando en el eje X de la misma gráfica el período de humedecimiento máximo asociado a un período de retorno de 10 años, el cual se supone será proporcional al valor de I_A a partir de valores horarios.

Esta representación se realizará comparando los valores tomados para cada orientación de fachada, es decir, a cada valor X con una orientación de fachada obtenido con el método alternativo, se le asignará un valor Y obtenido para la misma orientación de fachada con el método horario. Dicha comparativa se realizará para las hipótesis de cálculo comentadas en apartados posteriores. Una vez representados todos los valores se obtendrá una nube de puntos y la regresión lineal como la que se muestra en la imagen siguiente:

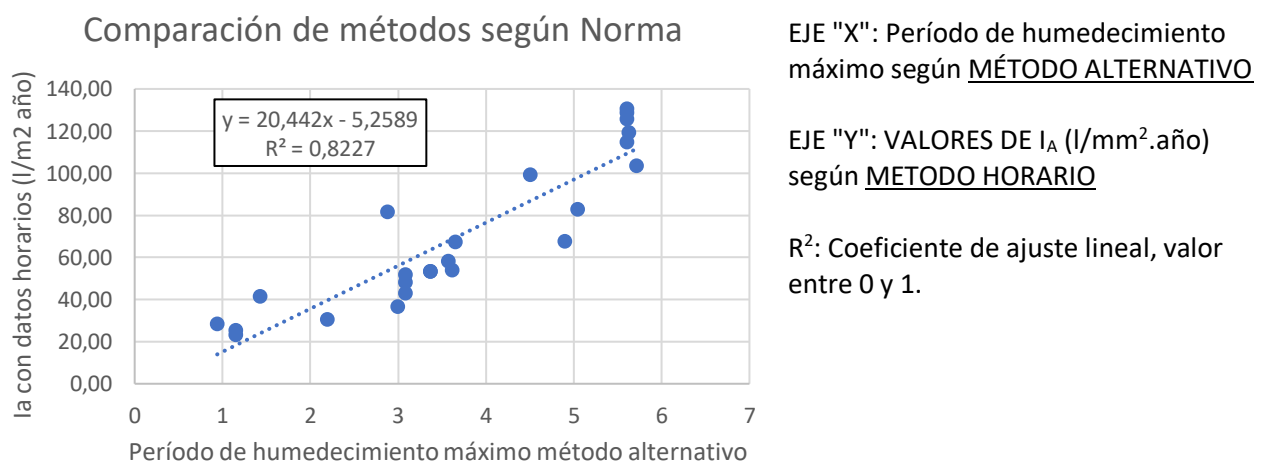


Figura 4.3 Comparación entre método de referencia y método alternativo. Realización de la regresión lineal indicada según el parámetro de ajuste R^2 y su ecuación lineal

A partir de la nube de puntos se realiza la regresión lineal de ellos con la que se obtiene el valor del coeficiente R^2 , que nos devuelve un valor de la regresión entre 0 y 1, significando 1 un ajuste perfectamente lineal entre los valores X e Y, y un valor de R^2 de 0 nos indicará que no existe relación lineal alguna entre los valores representados en el eje X e Y.

Para el presente estudio, se ha considerado que un ajuste excelente entre ambos métodos se producirá cuando el valor de R^2 se encuentre en el intervalo entre 0,9 y 1. Un ajuste aceptable, aunque no con elevada exactitud, se considerará cuando el valor de R^2 se encuentre entre 0,8 y 0,9.

Por último, para valores de R^2 inferiores a 0,8, no se considerará adecuado el ajuste entre ambos métodos, dado el elevado error que presentan los resultados del método alternativo en relación a los del método de referencia. En esos casos, podremos asegurar que a partir del método alternativo no se puede obtener una estimación válida de la exposición a la lluvia batiente.

A partir de la metodología comentada, se indica a continuación la equivalencia de los dos métodos realizada en cada una de las ciudades británicas según aplicación de la Norma. Concretamente se realizó en las ciudades de Londres, Manchester y Edimburgo, calculando el valor de la lluvia batiente para cuatro direcciones de fachada (Norte, Sur, Este y Oeste). Los valores de los puntos registrados se muestran a continuación, gráficos que también se recogen en el Anexo D de la propia norma ISO.

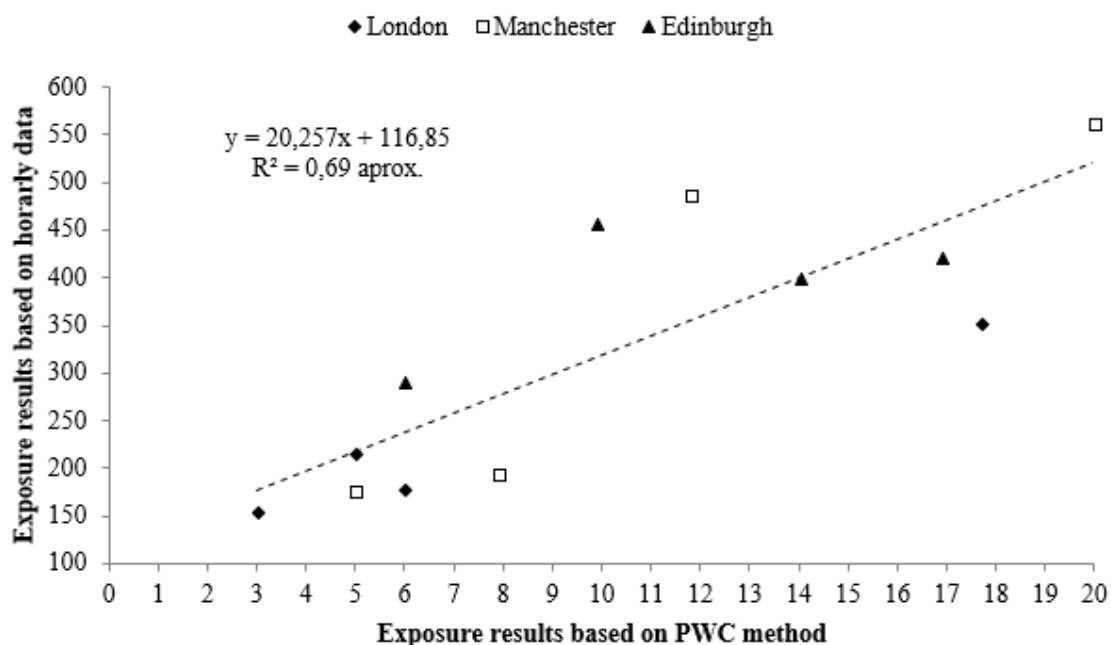


Figura 4.4 Comparativa global de métodos horario-alternativo en estaciones de Reino Unido

En el eje X queda indicado el período máximo de humedecimiento a partir del método alternativo, según la secuencia acumulativa de las medias jornadas y en el eje Y se indica el valor de lluvia batiente obtenido a partir del primer método, en l/m2*año.

En la gráfica aparecen los valores obtenidos con ambos métodos para cuatro orientaciones en cada emplazamiento, obteniendo una correlación lineal de todo el conjunto de 0.69, valor no aceptable según los criterios comentados. Esto indicaría que la Norma no es adecuada ni siquiera para el conjunto de los emplazamientos británicos para los cuales, a priori, se consideran convergentes ambos métodos. Analizando individualmente cada emplazamiento, ya que la climatología no es idéntica en cada lugar, se obtienen los siguientes resultados:

- Londres: Pluviometría media anual 620 mm2/año. $R^2=0,94$
- Manchester: Pluviometría media anual 829 mm2/año. $R^2=0,86$
- Edimburgo: Pluviometría media anual 704 mm2/año. $R^2=0,45$

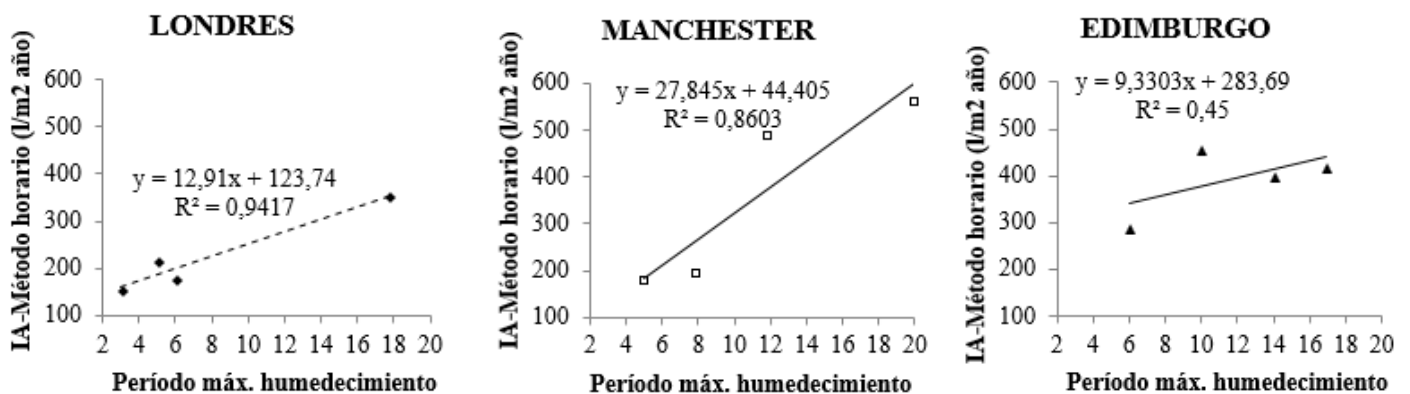


Figura 4.5 Comparativa de métodos horario-alternativo cada estación de Reino Unido

Según los valores recogidos en la norma, la convergencia entre ambos métodos en la ciudad de Londres obtuvo un coeficiente de 0.94, muy aceptable según los criterios establecidos en el estudio.

Tras la comparación en la ciudad de Manchester, se obtuvo una relación de 0.86, aunque menor que en el caso anterior, se obtiene un valor aceptable con buena equivalencia entre ambos métodos.

Para el caso de Edimburgo, se obtiene una relación de 0.45 entre ambos métodos, un valor muy bajo que clasifica su relación de no aceptable. Sin embargo, puede observarse que, a diferencia de los casos anteriores, la nube de puntos tiene valores muy próximos entre sí, por lo que probablemente se necesiten más puntos y más lejanos entre ellos para ver el comportamiento real.

Una vez vistos los resultados que ofrece la Norma sobre las tres ciudades, se puede concluir que los métodos establecidos por la misma ofrecen una buena convergencia en dos de las tres ciudades pero que la precisión no es muy alta. Esto se debe a que sólo se registran valores para cuatro orientaciones de fachada lo que genera unos resultados poco representativos.

Por ello, en el presente estudio, se realiza el mismo análisis para mayor número de estaciones y diferentes comunidades autónomas con climas diversos, generando una nube de puntos con mayor cantidad de valores de orientación de fachada entre 0 y 360

grados con intervalos de 15 grados, lo que resultará de un estudio más completo y preciso que el ofrecido actualmente por la Norma para su validación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la obtención de resultados y su posible valoración, se aplica la metodología mencionada en el apartado anterior considerando varias hipótesis respecto a los procedimientos planteados por la Norma.

Se toma como resultado o caso de referencia el cálculo de la lluvia batiente obtenida a partir del primer método, es decir, a partir de datos horarios, generado a partir de un mayor número de datos recopilados como se ha mencionado anteriormente.

Tras obtener los resultados de lluvia batiente en un período de análisis de 10 años para el caso de referencia, se realizan los cálculos para obtener resultados a partir del método alternativo obteniendo los valores de lluvia batiente mediante una serie acumulativa con un período de retorno de 10 años.

Como se ha indicado anteriormente, el cálculo de la lluvia batiente a partir de datos horarios se efectúa a partir de la expresión facilitada por la Norma por lo que la forma de obtener los resultados para el método de referencia se realiza de la misma forma en cada estación analizada, sea cual sea su ubicación y únicamente dependientes de los resultados registrados en cada una de ellas.

Sin embargo, para el método alternativo se ofrece un método de cálculo en la Norma, que no está correctamente especificado, siendo asumibles y razonables diferentes hipótesis de cálculo. El planteamiento de estas diferentes hipótesis de cálculo y la comparativa de resultados obtenidos para cada una de ellas se indican a continuación.

5.1. HIPÓTESIS INICIALES

Para realizar el cálculo a través del método alternativo, se observa que, según aplicación de la Norma, se debe obtener la secuencia acumulativa de los valores asignados a las medias jornadas según sean éstas “húmedas”, “secas” o “neutras”, durante un período de 10 años.

Al realizar dicha secuencia, se pueden dar casos, según la climatología, en los que se acumulen valores constantemente debido a la presencia de continuadas medias jornadas “húmedas” sin producirse un número suficiente de medias jornadas “secas”. Por tanto, al comenzar un nuevo año, se continuarían acumulando medias jornadas “húmedas” provenientes del año anterior, creciendo continuamente. Por ello, no sería realista realizar una comparativa de un método que acumula continuamente las medias jornadas durante N años sin diferenciar uno de otro, con otro método que tiene en cuenta la humedad acumulada durante cada año concreto.

Añadir a lo anterior que, si se realizase el mismo estudio para un período registrado de 20 años, al realizar la serie acumulativa se podrían llegar a alcanzar valores de humedad acumulada todavía más elevados que si se realiza en un intervalo temporal de 10 años. Por ello, no tendría sentido obtener mayores valores de lluvia batiente si se tienen en cuenta mayor número de años en el estudio ya que, ante mismos valores registrados, si

se hace el estudio con 10, 15 o 20 años de registros, si se acumulan las humedades año tras año, se obtendrán diferentes valores máximos de lluvia batiente, algo que no debería ser adecuado para realizar la comparación.

Es a partir de esta falta de certeza en la aplicación del cálculo generada por la Norma por lo que surge la primera hipótesis de cálculo del método alternativo. Con estos primeros resultados obtenidos, se pretende justificar la forma óptima de realizar la comparación entre métodos indicados en la Norma. Por ello se indica a continuación los resultados obtenidos en caso de realizar la serie acumulativa del método alternativo de forma continuada durante los años registrados y los obtenidos si se inicia o resetea dicha serie anualmente. Con ello, se comprobará cuál de ellos se ajusta de mejor forma al método de referencia.

5.1.1 HIPÓTESIS INICIAL SIN RESETEO ANUAL

A continuación, se realiza la comparativa de los dos métodos para las 4 estaciones de cada Comunidad Autónoma (Galicia, La Rioja y Canarias) con cálculo del método alternativo acumulando indefinidamente la secuencia de medias jornadas, de forma que la humedad registrada al final del último año será obtenida por acumulación de todos los años anteriores.

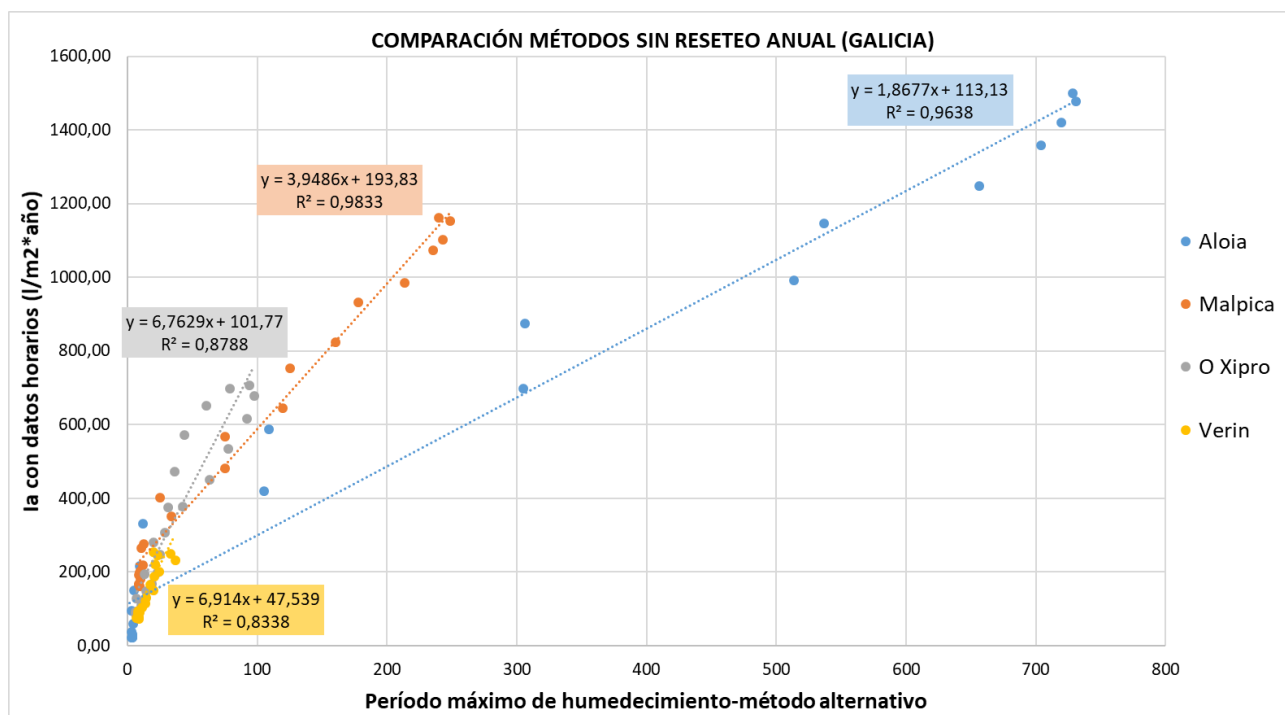


Figura 5.1 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Galicia.
Hipótesis inicial sin reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

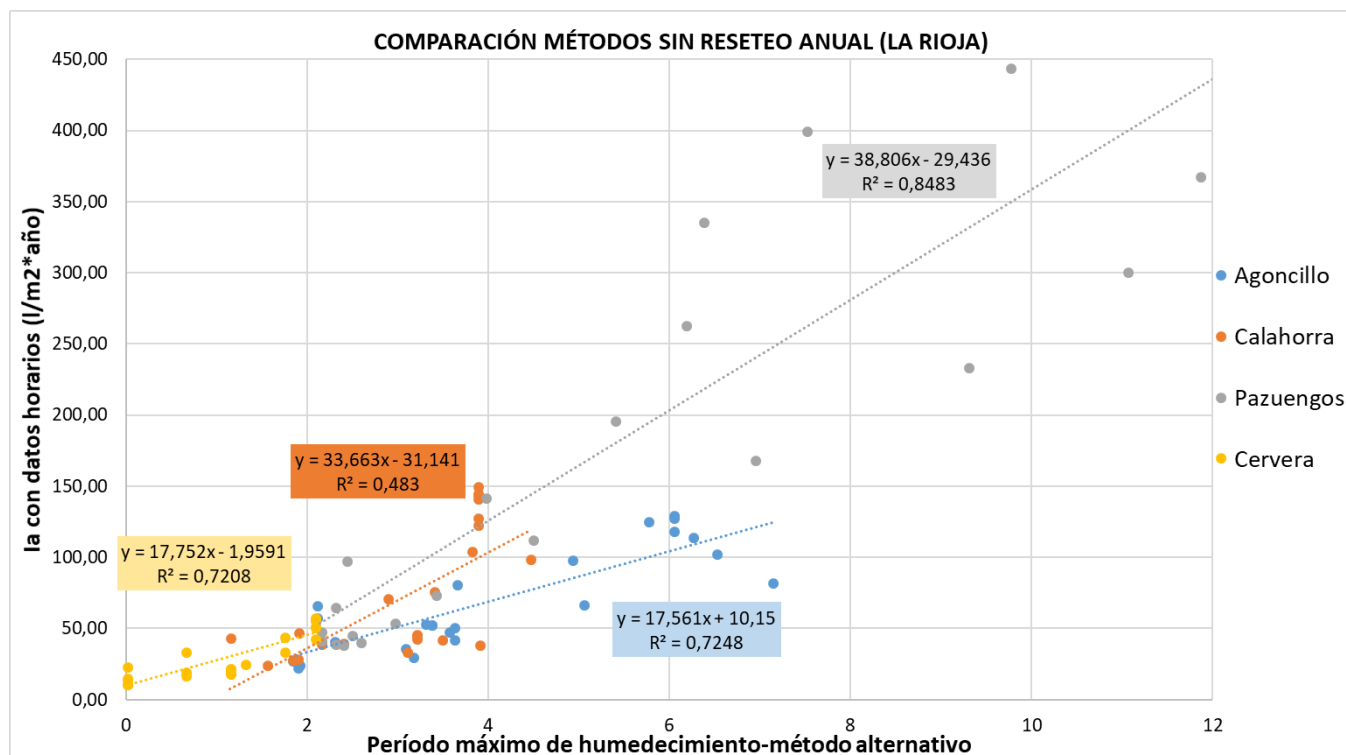


Figura 5.2 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de La Rioja.
Hipótesis inicial sin reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

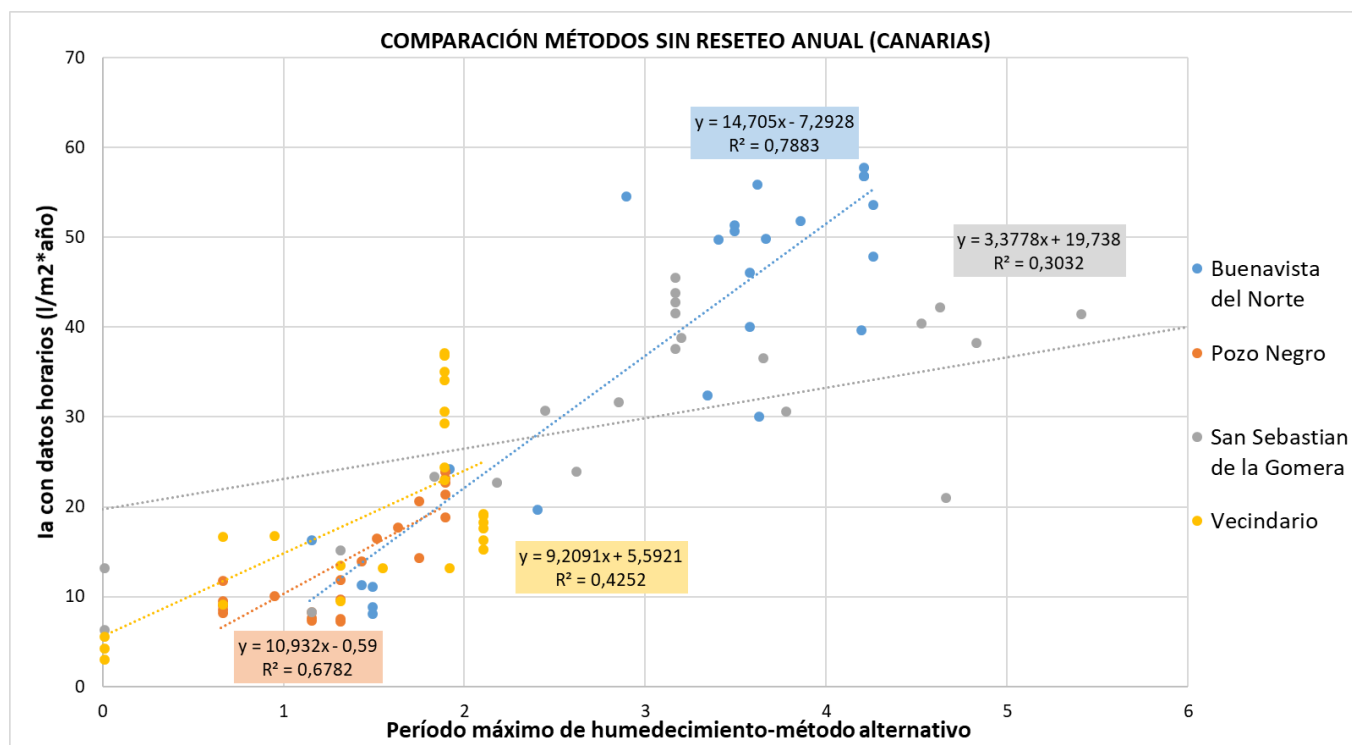


Figura 5.3 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Canarias. Hipótesis inicial sin reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo.

Para la comparación entre estaciones de la Comunidad Autónoma de Galicia se puede observar cada uno de los parámetros R^2 obtenidos en cada una de ellas. Para estaciones como Malpica y Aloia, este coeficiente arroja un valor de 0,98 y 0,96 respectivamente lo cual representa ajuste entre ambos métodos muy exacto, es decir a partir de menores datos registrados con el método alternativo y valorando las medias jornadas, se podrían obtener los valores del método de referencia a partir de la ecuación lineal indicada con alta exactitud.

Para los casos de las estaciones de Verín y O Xipro, el coeficiente de ajuste R^2 obtenido es menor (0,87 y 0,83 respectivamente) considerándose aceptable según los criterios del estudio, pero no garantizando gran exactitud como los anteriores.

Se puede observar que en los dos casos más exactos (Malpica y Aloia) los valores de índice de lluvia batiente I_A del método de referencia (eje Y) llegan a valores máximos en torno a 1200-1500 l/m².año mientras que en las estaciones de Verín y O Xipro nos encontramos en valores máximos de 200 y 800 l/m².año. Esto indica que las dos primeras registran valores importantes de viento y precipitación simultáneos siendo menor esta importancia en las otras dos. También se comprueba esto observando los valores del método alternativo (eje X) donde en las dos primeras se acumula mayor cantidad de jornadas húmedas que en las otras dos.

Tras el análisis de esta hipótesis inicial en las estaciones de la Comunidad Autónoma de Galicia se puede verificar que, para estaciones con importantes exposiciones a la lluvia batiente, el ajuste entre los dos métodos es más preciso, y este ajuste es de menor exactitud conforme se registran valores de viento y lluvia de menor importancia.

Destacar en este caso que, al hacer el cálculo del método alternativo acumulando la humedad de las medias jornadas de cada año sobre el siguiente, en estaciones con gran aporte de agua se obtienen valores muy elevados. Fíjese en el caso de Aloia que se acumula la serie llegando a valores cercanos a 800. Si se hubiera analizado mayor cantidad de años este valor se habría incrementado, algo que no debería ser correcto si se está comparando con un método de referencia que emplea valores anuales, e incluso podría ofrecer valores de ajuste incorrectos.

En la comparativa realizada en las estaciones de La Rioja, tan solo la estación de Pazuengos se podría considerar como aceptable con un valor de ajuste cercano al 0,85. Se puede observar que, para verificar lo anteriormente comentado, las estaciones de Agoncillo, Calahorra y Cervera con parámetros de ajuste de 0,72, 0,72 y 0,48 respectivamente tienen valores máximos de I_A con registros horarios de entre 50 y 150 l/m².año mientras que la estación de Pazuengos llega hasta valores máximos de 500 l/m².año, la cual tiene mayor similitud con algunas estaciones de Galicia.

En los casos de La Rioja no se aprecia el efecto de acumulación de la serie de medias jornadas del método alternativo debido a que la existencia de medias jornadas húmedas y secas podrían ser de la misma magnitud. Por ello, se comparará en el siguiente apartado con este mismo método, reseteando a cero la serie acumulativa tras el cómputo

anual para observar la fiabilidad del resultado ya que es posible que se esté realizando una acumulación no válida.

Finalmente, para la comparación realizada en la Comunidad Autónoma de Canarias y sus cuatro estaciones, se puede observar que el ajuste de los métodos no se podría considerar válido en ninguna de ellas al encontrarse todas por debajo del valor de 0,8 para R^2 .

También se puede verificar, que la estación con el ajuste más próximo a ser considerado como válido, en este caso la de Buenavista del Norte, es la que registra mayores valores de lluvia batiente I_A tras los cálculos con el método de referencia.

Para el resto de estaciones analizadas en Canarias sólo se puede afirmar que el ajuste de ambos métodos no es aceptable en el presente estudio por lo que la Norma no sería de aplicación. Por ello, se realizará el mismo análisis reseteando la serie del método alternativo tras el cómputo anual.

Tras la comparación de los métodos indicados por la norma a cada una de las estaciones de las tres Comunidades Autónomas, tan solo ésta garantizaría una correcta convergencia para las estaciones de Galicia y algunas estaciones de La Rioja, dependiendo de la climatología. No se garantizaría dicha equivalencia en las estaciones de Canarias.

Para verificar y aclarar la Norma, se verá en el siguiente apartado la comparación de métodos ante la misma hipótesis inicial aplicando el inicio o reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo.

5.1.2 HIPÓTESIS INICIAL CON RESETEO ANUAL

En este caso, se realiza la comparación de ambos métodos, aplicando en el cálculo del método alternativo la secuencia acumulativa de medias jornadas hasta el final de cada año, momento en el que todos los valores de la secuencia volverán a comenzar de cero.

De este modo, se contabiliza únicamente la humedad registrada cada año, independientemente de los registros de los años anteriores, de esta forma se obtienen resultados de humedad sobre cada dirección de fachada durante cada año individual del mismo modo que se realiza en el método de referencia con el que se compara.

Tras la realización del cálculo ante las dos hipótesis de partida planteadas, se pretende hallar el método óptimo que se debe tomar para garantizar una buena equivalencia de ambos métodos. Una vez analizadas las estaciones establecido el mejor procedimiento para realizar los cálculos, se plantearán las nuevas hipótesis de cálculo para poder mejorarlo.

Los resultados obtenidos en este caso, de nuevo para las cuatro estaciones de cada Comunidad Autónoma se muestran a continuación:

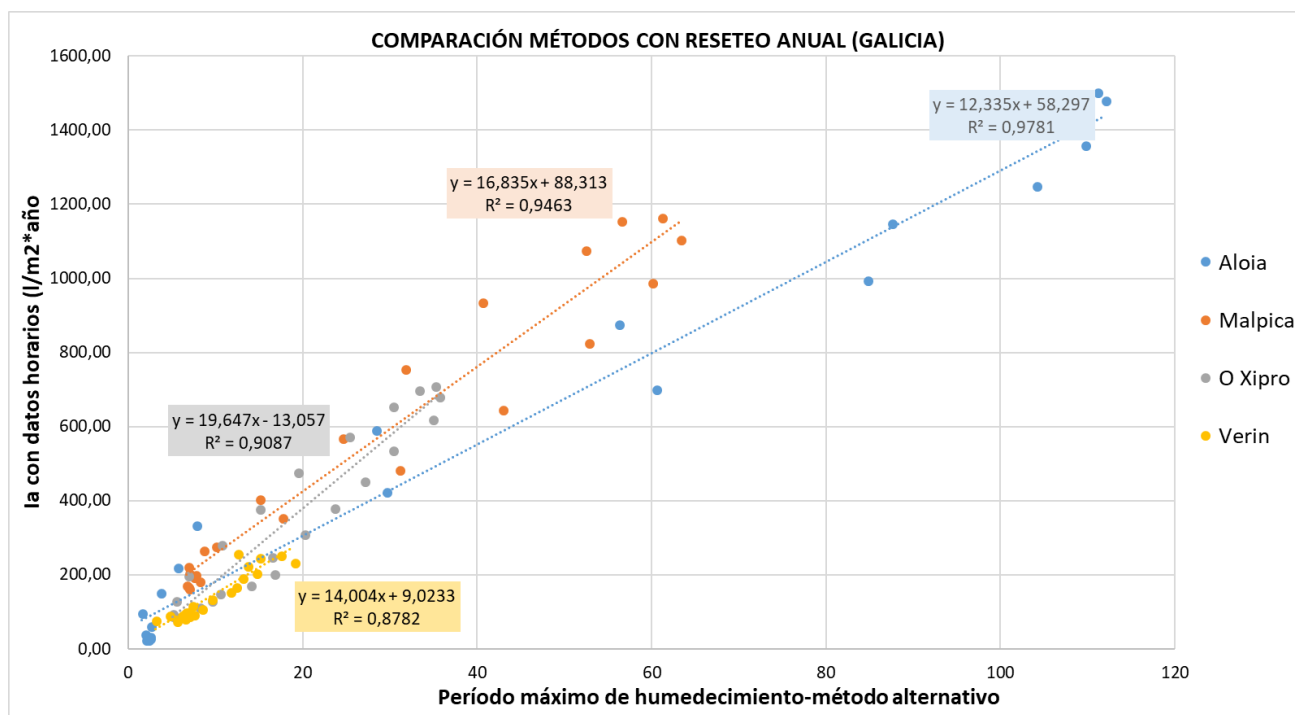


Figura 5.4 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Galicia.
Hipótesis inicial con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

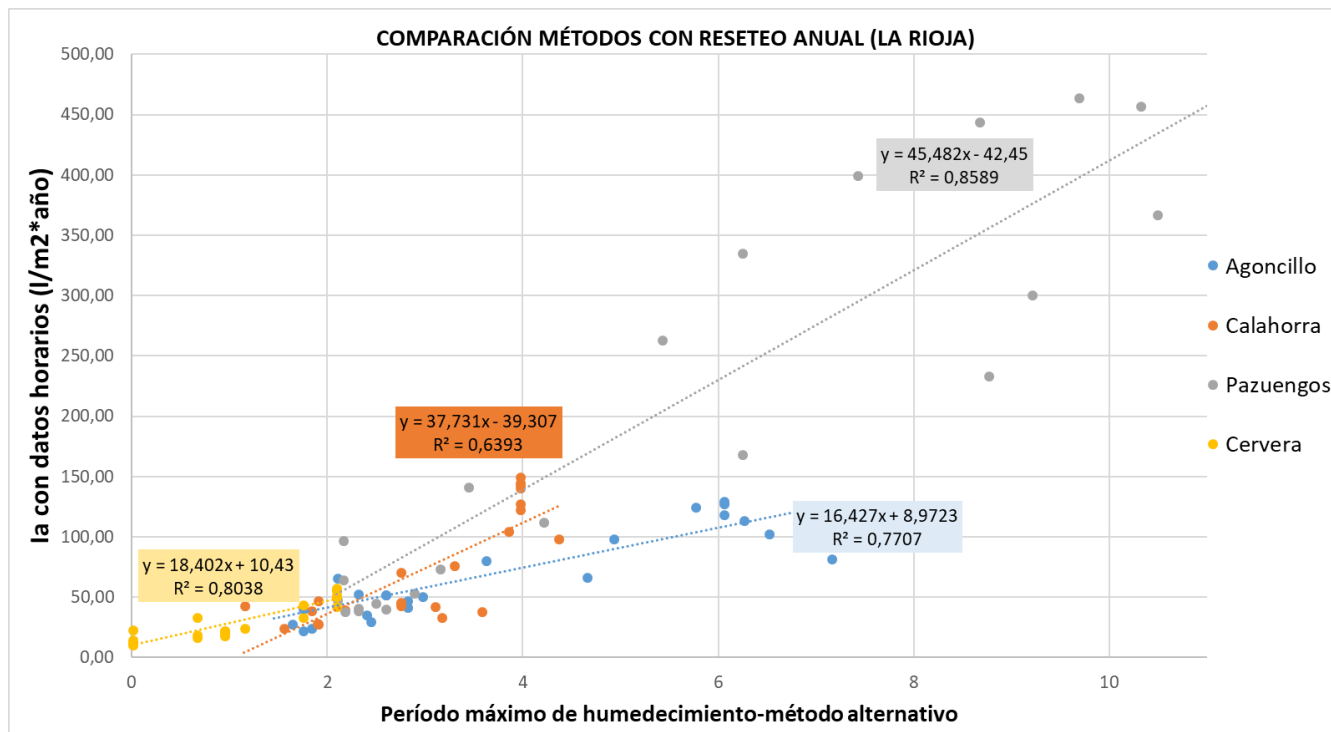


Figura 5.5 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de La Rioja.
Hipótesis inicial con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

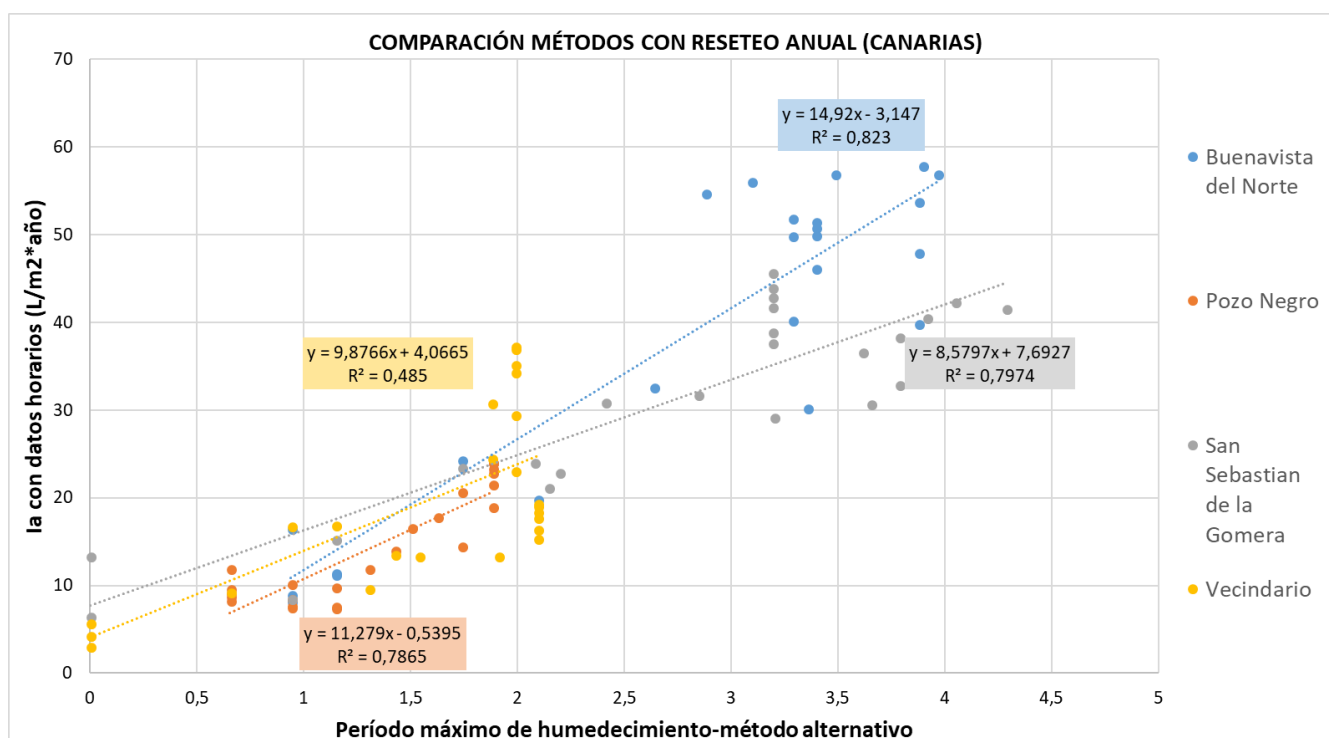


Figura 5.6 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Canarias.
Hipótesis inicial con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

En el caso de las estaciones gallegas, concretamente las estaciones de Aloia y Malpica, las cuales se vio que tenían un ajuste con valores de R^2 cercano a la unidad entre los dos métodos, para este caso mantienen dicho ajuste siendo dicho valor de 0,98 y 0,95 respectivamente. Esto indicaría que para elevados valores de lluvia batiente sería correcto el ajuste tanto reiniciando la serie del método alternativo cada año como si no se realizara. Esto significaría que la acumulación de medias jornadas húmedas es similar año tras año y se produciría un buen ajuste lineal tanto si se acumulan de un año a otro como si se reinicia el cálculo anualmente.

Sin embargo, para las estaciones de O Xipro y Verín, con valores de R^2 de 0,9 y 0,88 respectivamente, se produce una mejora del ajuste, considerando ambos con una alta exactitud. Esto se debería a que, en estos dos casos, aunque la mayoría de medias jornadas sean húmedas, también existen jornadas secas que hacen que no todos los años se registre la misma acumulación de humedad. Por tanto, para estaciones con menor importancia de viento y precipitación, lo correcto es realizar el reinicio de la serie del método alternativo al concluir el registro de cada año.

Del mismo modo, se puede apreciar como en este caso, los valores de lluvia batiente representados con el método alternativo (eje X) se reducen considerablemente respecto al caso anterior, donde se obtenían valores mayores debido a la acumulación constante de precipitación. En este caso, si se realizara el análisis de mayor número de años, al aplicar la Norma de esta forma, los valores obtenidos con el método alternativo serían

del orden de los obtenidos en este caso, pudiendo variar en todo caso la precisión del ajuste de los métodos al realizarse el estudio con mayores registros.

Sucede de forma similar en el caso de las estaciones de La Rioja, donde todas ellas mejoran el ajuste al estar comparando registros anuales en ambos métodos. Sin embargo, el ajuste de estas estaciones continúa sin considerarse adecuado según los criterios establecidos, ya que tan sólo la estación de Pazuengos ($R^2=0,86$ y registros mayores de lluvia batiente) no solo continúa siendo aceptable, sino que mejora respecto al caso anterior.

Respecto a las estaciones de Canarias, también se verifica que con el cálculo realizado en este apartado el ajuste de los métodos se ve mejorado, llegando incluso la estación de Buenavista del Norte a obtener valores aceptables de R^2 (0,82 en este caso). También se observa que esta estación es la que registra valores máximos de lluvia batiente superiores a las otras estaciones y similares a las de las estaciones de La Rioja.

Tras la comparación entre métodos según las dos hipótesis iniciales planteadas anteriormente (reseteando o no anualmente la serie del método alternativo) se puede concluir:

- Para valores elevados de lluvia batiente, los cuales se dan en zonas con vientos y precipitaciones de gran importancia, ambas formas de comparación ofrecen un buen ajuste entre ambos métodos.
- Para zonas con registros de lluvia batiente de menor importancia, se obtiene un mejor ajuste aplicando el método alternativo analizando la serie de medias jornadas independientemente cada año.
- Aunque el ajuste sea mejor a partir del método alternativo reseteando la serie anualmente en todos los casos, no se garantiza que con este método el ajuste entre ambos métodos sea considerado como correcto.
- Los métodos de cálculo proporcionados por la Norma ofrecen una correcta relación entre ambos métodos en zonas donde los vientos y precipitaciones son de gran importancia, como es el caso de Galicia o algunas estaciones de La Rioja, del mismo modo que indica la Norma se verificó para las estaciones del Reino Unido, con climatología similar.
- Para climatologías diferentes a las de Reino Unido (mucho más secas, como es el caso de Canarias), no resulta un correcto ajuste entre método de referencia y método alternativo.

Una vez concluido que la correcta forma de realizar la comparativa entre métodos desde el punto de vista tanto físico como de cálculo, es realizando el cálculo del método alternativo teniendo en cuenta la secuencia de registro cada año individualmente, se plantea, a continuación, una nueva hipótesis con el objetivo de mejorar dichos resultados.

5.2. HIPÓTESIS DE MEJORA A

Partiendo del método óptimo anteriormente descrito, con el que se obtienen resultados más precisos (reiniciando la serie acumulativa cada año), se pretende ir más allá de lo planteado por la norma e intentar mejorarla, de forma que sean más sencillos los cálculos ante la cantidad de datos necesarios.

Como se ha mencionado anteriormente, el método alternativo plantea una forma de cálculo basada en medias jornadas, valorando una serie de criterios que nos permite realizar su clasificación. Para ello, el código meteorológico ofrece valores de precipitación acumulada durante la media jornada en cinco observaciones diferentes además de valores medios de velocidad y dirección del viento y humedad relativas durante la misma.

Para la obtención de dichos valores no se ha recurrido al código meteorológico con el fin de evitar el proceso de decodificación del mismo ya que se disponen datos recopilados cada 10 minutos o 30 minutos en todas las estaciones analizadas.

Por ello, en esta nueva hipótesis se plantea una reducción en la cantidad de datos, y obtener qué resultaría si se compararan los dos métodos del mismo modo que en los casos anteriores, pero tomando únicamente los registros obtenidos instantáneamente cada 3 horas (cada una de las observaciones de la Norma), de modo que se reduciría notablemente la cantidad de datos en el cálculo, haciéndolo más simple.

Tras esta simplificación, se valorará si la relación entre ambos métodos continúa siendo adecuada a partir, de nuevo, de los valores de R^2 . Si los valores de dicho parámetro se encuentran dentro de los intervalos de aceptación comentados, se considerará como aceptable la aproximación, no siendo válida para aquellos valores de dicho parámetro que se encuentren fuera del rango aceptable.

Respecto a la hipótesis 1, ahora en lugar de promediar datos recopilados cada 10-30 minutos (según la CCAA analizada), lo que se hace es simplemente recurrir a los datos registrados puntual o instantáneamente cada 3 horas.

Los resultados obtenidos para el caso óptimo según la hipótesis inicial y con la primera hipótesis de mejora para cada una de las estaciones de cada Comunidad Autónoma se muestran a continuación:

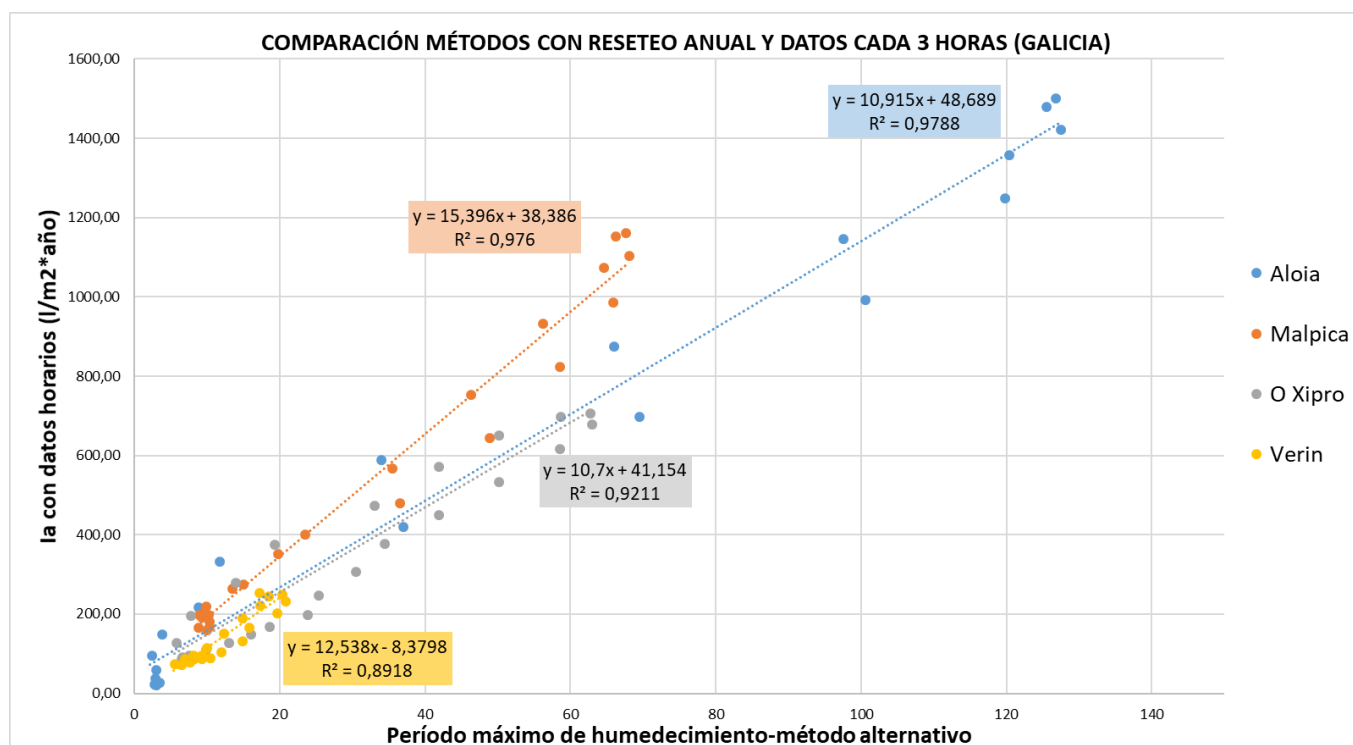


Figura 5.7 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Galicia. Hipótesis de mejora A. Datos instantáneos cada 3 horas con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

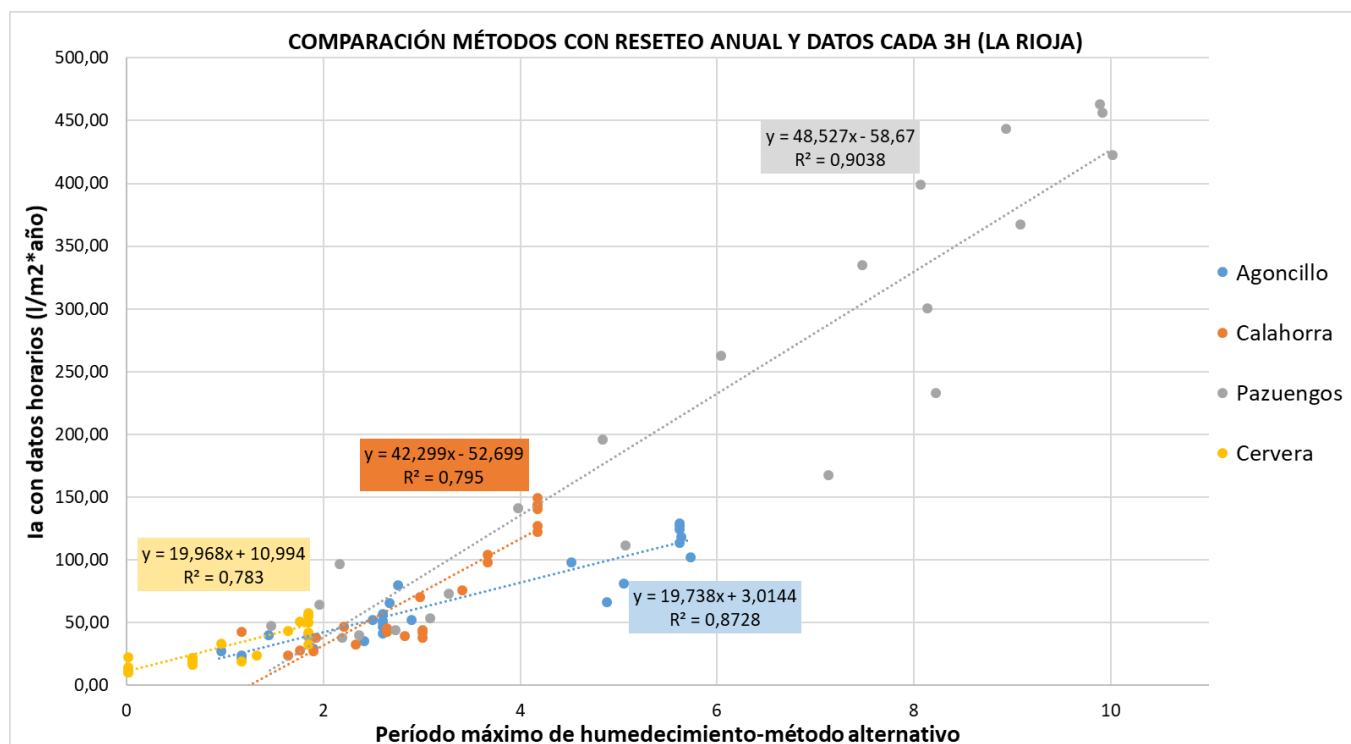


Figura 5.8 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de La Rioja. Hipótesis de mejora A. Datos instantáneos cada 3 horas con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

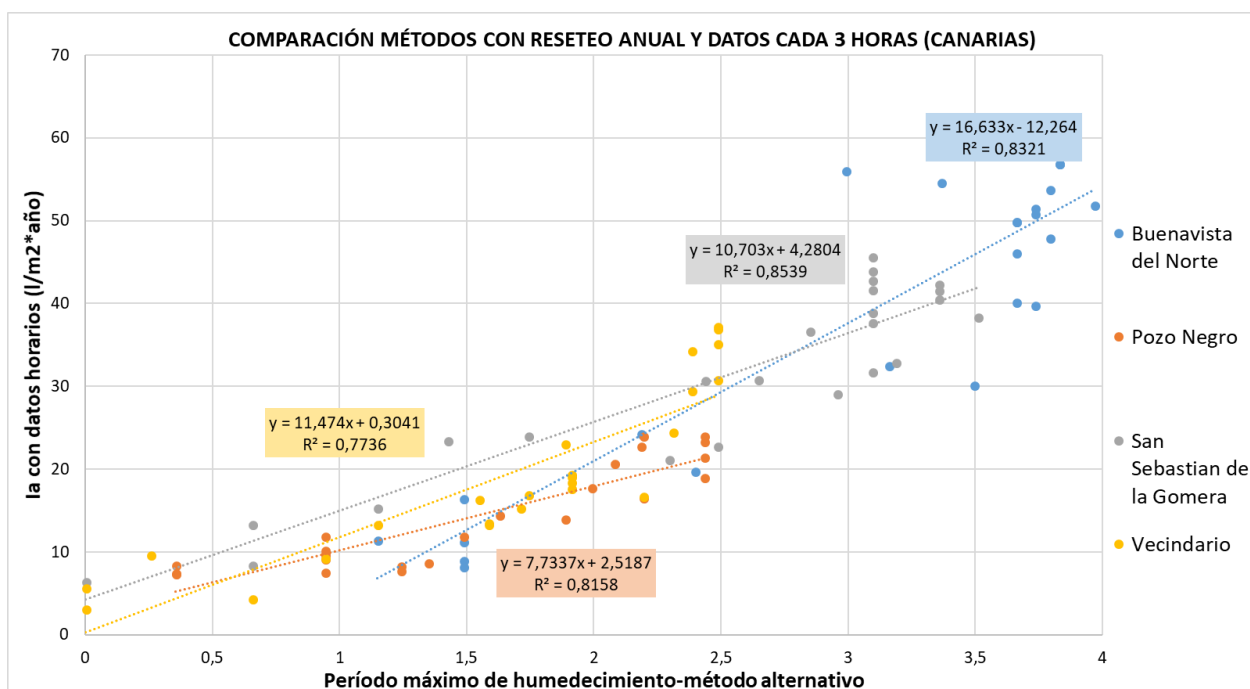


Figura 5.9 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Canarias. Hipótesis de mejora A. Datos instantáneos cada 3 horas con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo.

Tras realizar la comparativa entre ambos métodos y en cada estación con el nuevo cálculo del método alternativo, tomando registros instantáneos únicamente cada tres horas, se pueden observar diversos cambios.

En el caso de las estaciones de Galicia, de nuevo las estaciones de Aloia y Malpica garantizan un ajuste cercano a la unidad entre los métodos. Cabe destacar las estaciones de Verin y O Xipiro que no solamente garantizan un buen ajuste entre los métodos, sino que se mejora respecto al anterior caso (llegando a superar el 0,9 en el caso de O Xipiro y alcanzando prácticamente ese valor en Verin). Es decir, realizando el cálculo del método alternativo empleando registros instantáneos cada 3 horas se mejora la aplicación de la norma para las estaciones gallegas. Habrá que verificar si se cumple lo mismo en el caso de otras Comunidades Autónomas donde se producen menores precipitaciones e intensidades de viento.

Para las estaciones de la Comunidad de La Rioja, se puede observar que la estación de Agoncillo, la que mayores valores de lluvia batiente de referencia alcanza, sitúa el ajuste entre métodos superando el 0,9. El resto de las estaciones de esta comunidad mejoran ligeramente respecto al anterior caso, pero sin llegar a considerarse un ajuste aceptable más que en la estación de Agoncillo ($R^2=0,87$)

Para las estaciones de Canarias, se aprecia una mejora considerable en algunas estaciones respecto al anterior método, llegando a considerar hasta 2 estaciones que antes no lo eran como aceptables (Pozonero y San Sebastián de la Gomera). La estación de la de Buenavista del Norte a pesar de ser la que mayor lluvia batiente de referencia registra, mantiene el mismo resultado de ajuste que en el caso anterior.

Tras la comparación una vez planteada la primera hipótesis de mejora, se puede concluir que la mayoría de las estaciones mejoran la relación entre ambos métodos

respecto al caso inicial. Además, continúa verificándose en este caso que en las estaciones con registros importantes de lluvia batiente de referencia es donde mejor resulta la aplicación de la Norma.

Tras esta primera mejora planteada, debido a que se obtienen incluso mejores resultados empleando menor cantidad de datos, surge la siguiente hipótesis de como variarían dichos resultados y cuál sería la relación entre los dos métodos si se tuviera en cuenta únicamente un registro cada media jornada (en lugar de cada 3 horas). En el siguiente apartado se comenta dicha hipótesis.

5.3. HIPÓTESIS DE MEJORA B

Una vez contrastada la relación entre ambos métodos planteada la primera simplificación, se pretende observar si dicha relación continúa siendo válida si se simplifica aún más, incluso si se modifican algunos de los criterios con los que se realiza el cálculo del método alternativo.

Por ello, se plantea una nueva hipótesis, con la que se pretende comparar ambos métodos en el caso en el que los datos necesarios para caracterizar la media jornada para el cálculo de la lluvia batiente con el método alternativo, sean registrados solamente una vez cada media jornada, es decir, una toma de parámetros cada 12 horas.

Con este nuevo planteamiento, sólo sería necesaria una observación para caracterizar la media jornada, por lo que el valor final de cada parámetro no se obtendrá a partir de un código que ofrece información final que ha tenido que ser registrada durante todo el período.

Se realizará de nuevo la comparativa con el primer método de referencia basado en datos horarios y se comprobará si con la aproximación de tomar solamente valores cada media jornada para caracterizar ésta se continúa teniendo una relación aceptable entre ambos métodos. Para ello, de nuevo, se observará si guardan relación lineal a partir del parámetro R^2 .

En este caso, al eliminar las mediciones cada 3 horas dentro de la media jornada, se deberán modificar las consideraciones de la Norma para asignar un valor a la media jornada, dependiendo si ésta es “húmeda”, “seca”, o “neutra. Por ello se tomarán los siguientes criterios modificados.

Se definirá una media jornada como “húmeda” cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Dentro de la media jornada se producen más de 4 mm de precipitación sobre la superficie
- Existe presencia de precipitación tras la observación de la media jornada realizada al transcurrir las 12 horas de su duración.
- La velocidad del viento en el momento de la observación es mayor a 2 m/s

- La dirección media del viento en el momento de la observación se encuentra dentro del intervalo $\pm 60^\circ$ respecto a la perpendicular al muro, lo que significa que el valor absoluto de $D-\theta \leq 60$

Queda definida una media jornada como “seca” cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- El registro de humedad relativa atmosférica en el instante de observación de la media jornada cada 12 hora es inferior al 70%
- Se registra una velocidad aire en el momento de observación mayor que 2 m/s
- La dirección del viento en el instante de observación de la media jornada se encuentra dentro del intervalo $\pm 60^\circ$ respecto a la perpendicular al muro, lo que significa que el valor absoluto de $D-\theta \leq 60$.

Como se observa, se elimina la necesidad de disponer de registros cada tres horas dentro de la media jornada y únicamente se toma una observación en esta, lo que supone un menor esfuerzo de cálculo y un análisis de mayor rapidez a la vez que la pérdida de información que ello supone.

Tras la comparación de los dos métodos teniendo en cuenta esta última hipótesis, se podrá comprobar si es posible no necesitar de gran cantidad de observaciones y obtener una buena aproximación en diferentes climatologías.

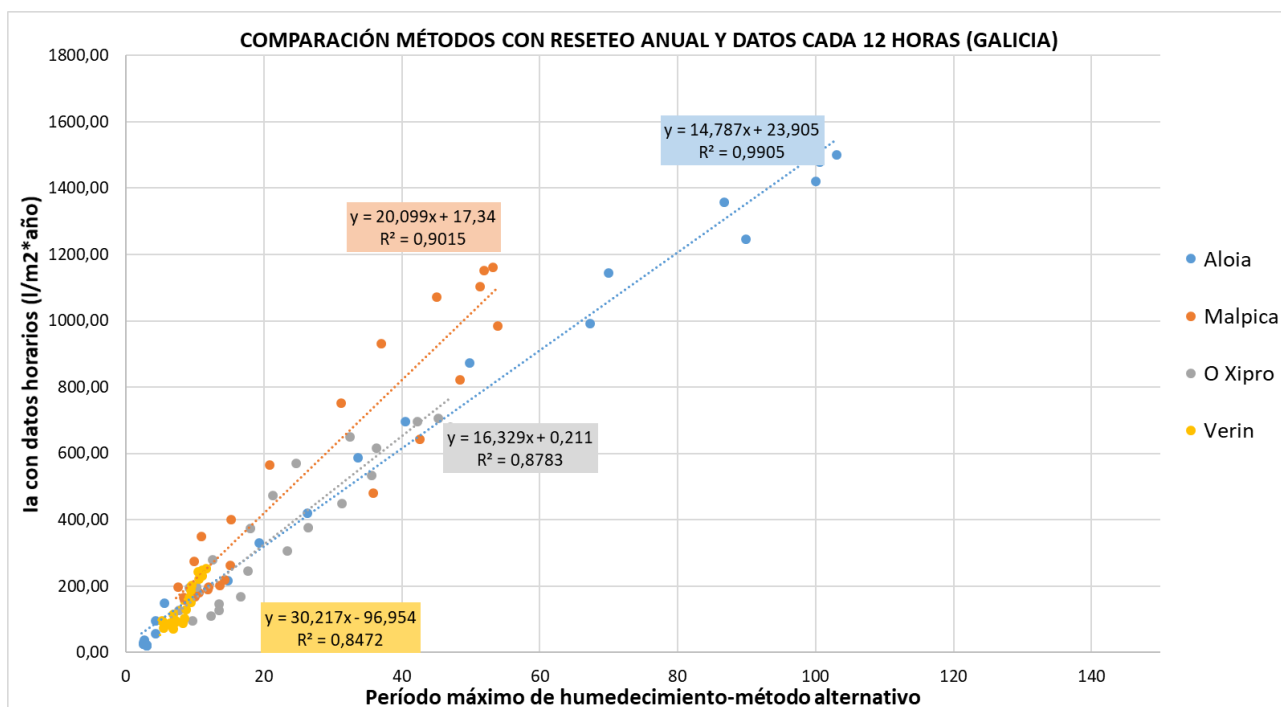


Figura 5.10 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Galicia. Hipótesis de mejora B. Datos instantáneos cada 12 horas con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo

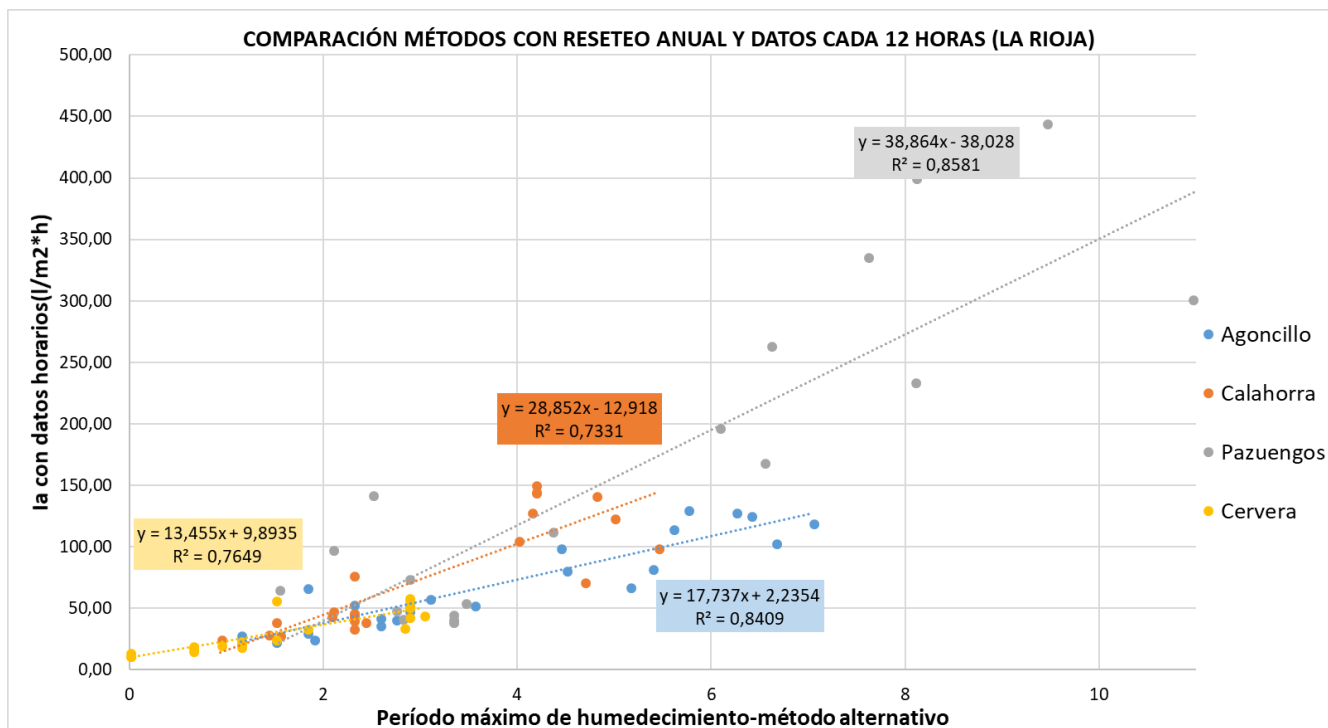


Figura 5.11 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de La Rioja. Hipótesis de mejora B. Datos instantáneos cada 12 horas con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo.

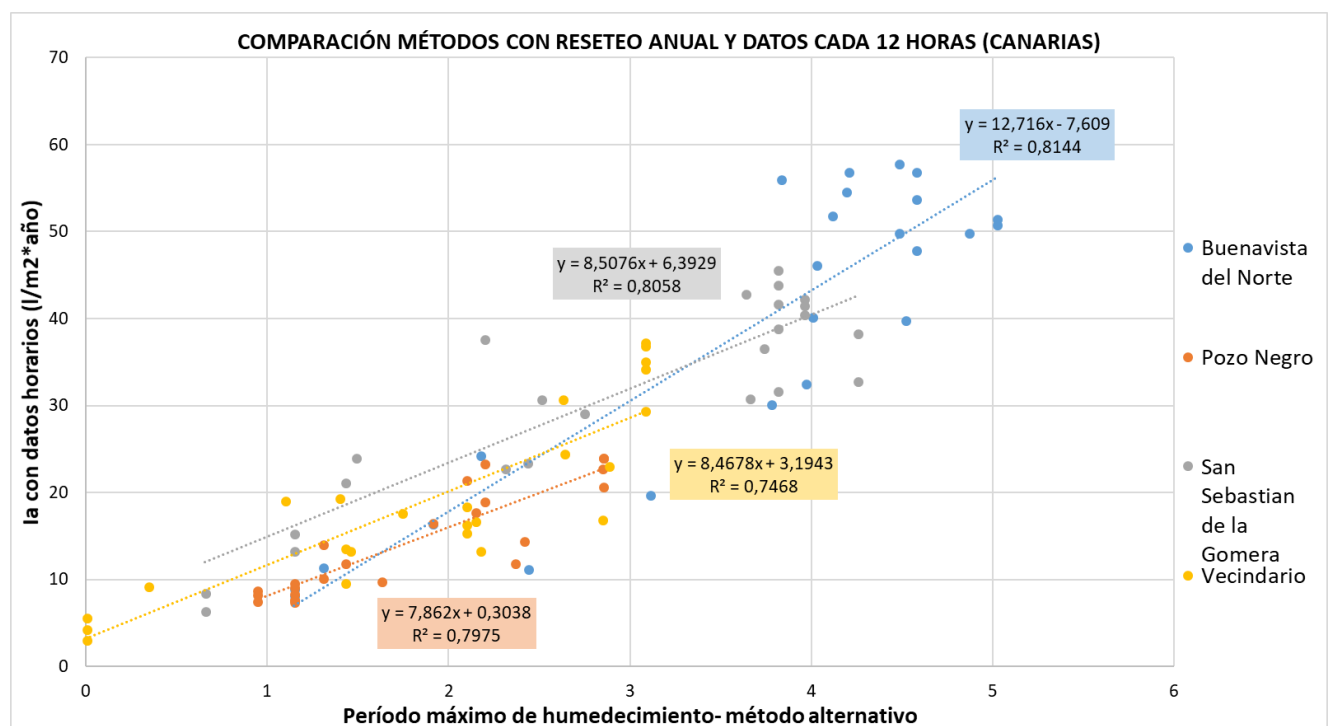


Figura 5.12 Relación método alternativo y método horario en estaciones meteorológicas de Canarias. Hipótesis de mejora B. Datos instantáneos cada 12 horas con reseteo anual de la serie acumulativa del método alternativo.

Como se puede observar en todas las estaciones de las tres Comunidades Autónomas, al aplicar esta nueva hipótesis se produce una reducción en los valores de R^2 . Esto es provocado por la cantidad de datos que se eliminan y la pérdida de información exacta que ello supone, ya que se está valorando una media jornada con un único registro en lugar de hacerlo observando lo que sucede en 5 registros durante la media jornada.

Sin embargo, para las estaciones gallegas, a pesar de ser peor el ajuste al realizar este caso, tanto las estaciones de Aloia como Malpica continúan ofreciendo valores de R^2 superiores a 0,9 lo que continúa suponiendo una buena relación entre los métodos con la hipótesis propuesta.

Tanto las estaciones de La Rioja como de Canarias, ven reducida la relación lineal entre el método de referencia y el método alternativo, aunque ambas tienen dos estaciones que podrían considerar su ajuste aceptable con los criterios establecidos en el estudio.

Por tanto, una vez obtenidos los resultados en este caso, se puede afirmar que la comparativa de este modo tiene como resultado un peor ajuste entre los dos métodos de forma generalizada.

Sin embargo, a pesar de la pérdida de información que supone, en el caso de estaciones con elevados valores de lluvia batiente de referencia I_A como es el caso de las estaciones gallegas de Aloia y Malpica, se podría prescindir de esa cantidad de información y aplicar el método alternativo registrando únicamente datos climáticos una vez en la media jornada (cada 12 horas) y obtener valores de lluvia batiente de referencia a partir del método alternativo con una buena exactitud.

Se puede concluir que la hipótesis planteada en este apartado será de aplicación efectiva en el caso de estaciones o emplazamientos con registros de viento y precipitación de gran importancia, que generan altos valores de lluvia batiente de referencia sobre la fachada.

5.4. RELACIÓN ENTRE ESTACIONES DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA

En los apartados anteriores se ha comparado los dos métodos según aplicación de la norma sobre cada una de las estaciones pertenecientes a cada Comunidad Autónoma.

En este caso, se pretende ver no sólo la relación que tienen los dos métodos según la hipótesis planteada sino además ver si se mantendría dicha relación en un grupo de estaciones, es decir, si realizando el cálculo del método alternativo con registros de un lugar o estación de una Comunidad Autónoma, se podría obtener la lluvia batiente del método de referencia de otra estación.

Se aplica este cálculo con los registros de cada estación perteneciente a cada Comunidad Autónoma empleados anteriormente y para las hipótesis de cálculo del método alternativo según se registren datos indicados por la Norma actual, con registro único cada tres horas o un único registro por media jornada de doce horas, todos ellos con el caso óptimo de reiniciar la serie del método alternativo al término del año.

Los resultados obtenidos en cada una de las Comunidades Autónomas se indican en las gráficas siguientes:

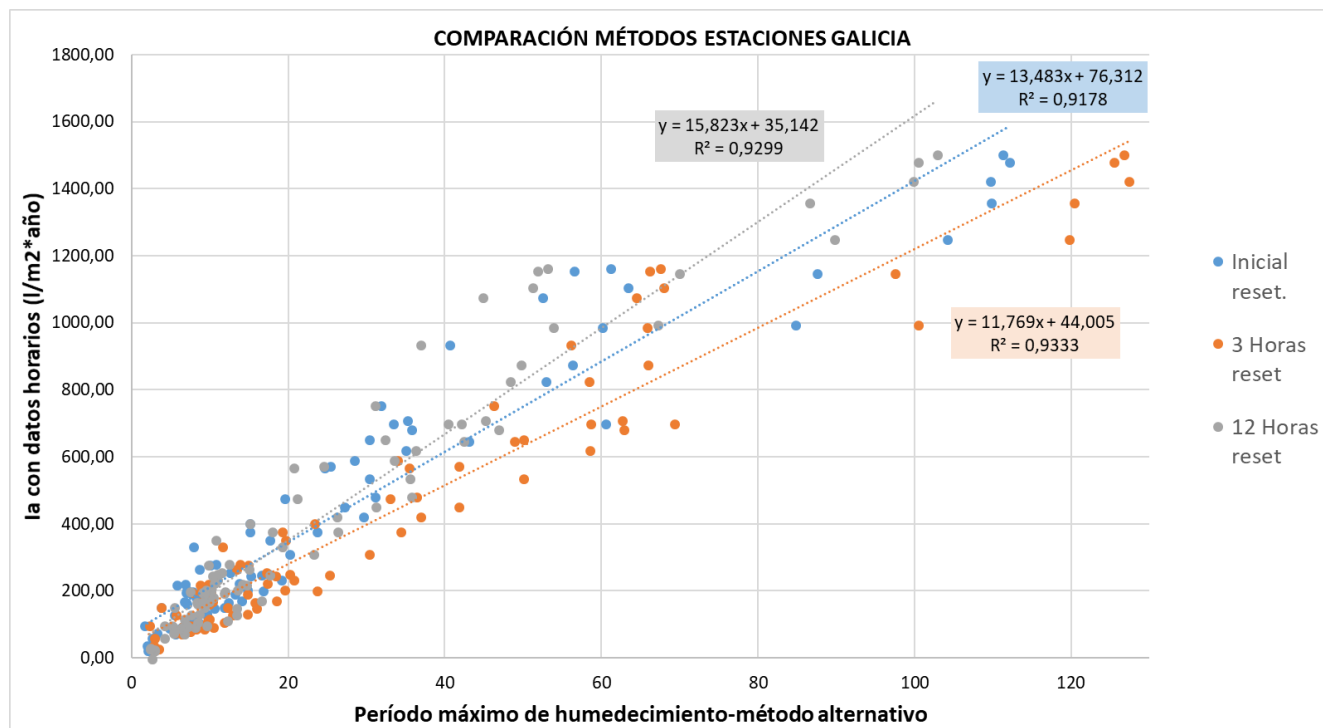


Figura 5.13 Relación método alternativo y método horario en conjunto global de estaciones meteorológicas de Galicia para cada una de las hipótesis analizadas.

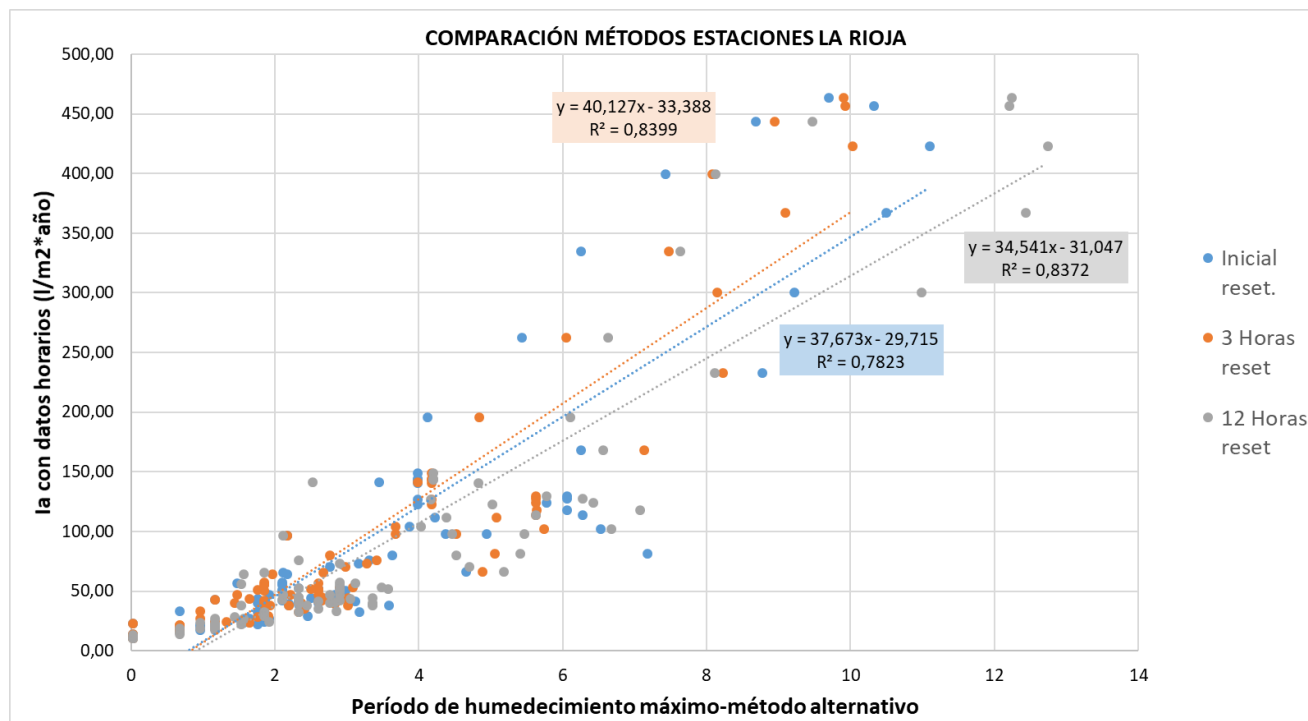


Figura 5.14 Relación método alternativo y método horario en conjunto global de estaciones meteorológicas de La Rioja para cada una de las hipótesis analizadas.

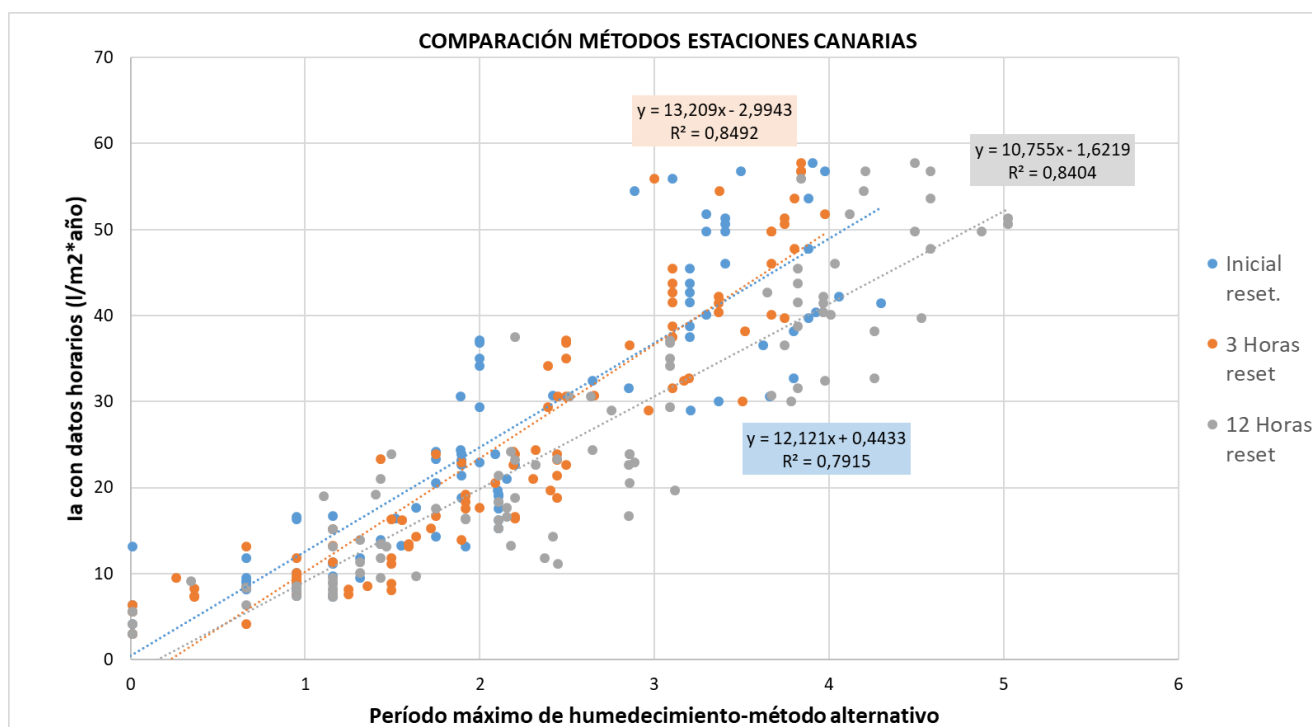


Figura 5.15 Relación método alternativo y método horario en conjunto global de estaciones meteorológicas de Canarias para cada una de las hipótesis analizadas.

Tras la comprobación de la relación de las estaciones dentro de una misma Comunidad Autónoma, se puede verificar que el mejor ajuste entre métodos continúa obteniéndose al aplicar el método alternativo tomando registros instantáneos cada 3 horas.

En las estaciones de Galicia, existe una excelente relación entre todas ellas empleando cualquiera de los métodos comentados, siendo el óptimo registrando datos climáticos cada 3 horas en el método alternativo, pudiendo incluso hacerlo tomando registros realizados una vez en la media jornada cada 12 horas teniendo la misma exactitud. Es decir, en Galicia, con los datos obtenidos en una estación con un único registro cada media jornada (12 horas) se podría extrapolar a la lluvia batiente de referencia de cualquier otra estación con una elevada precisión.

Para las estaciones de La Rioja y Canarias, el poder relacionar todas las estaciones dentro de la Comunidad Autónoma resulta de menor precisión, verificándose que se obtiene la óptima relación para el caso de realizar el método alternativo recopilando datos instantáneos cada 3 horas.

Puesto que en este apartado se pretende comprobar si es posible obtener una única relación lineal entre los dos métodos para cada comunidad, sería adecuado que el parámetro R^2 fuera muy elevado ya que no todas las estaciones tienen la misma climatología y podrían existir zonas en las que se perdiera precisión.

Concluir que, este caso se ha realizado tomando como valores de referencia los obtenidos en cuatro estaciones dentro de cada Comunidad Autónoma, buscando emplazamientos lo más diversos posibles donde los registros puedan ser más cambiantes. Por ello, este apartado podría incrementar su precisión si se añadiera registros de mayor número de estaciones de la Comunidad Autónoma.

5.5. TABLA RESUMEN Y RESULTADOS DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Se muestra, a continuación, una tabla resumiendo los resultados obtenidos para cada una de las hipótesis anteriormente planteadas. Además, se presenta un modelo de ficha informativa elaborada con los diferentes resultados climáticos pertenecientes a cada estación. Para ver las fichas de todas las estaciones con sus resultados según las hipótesis planteadas se puede consultar en Anexo 1 “Fichas de Estaciones”.

EVALUACIÓN Y COMPARATIVA DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LLUVIA BATIENTE SOBRE FACHADAS ESTABLECIDOS PO LA NORMA ISO 15927-3				HIPÓTESIS INICIAL SIN RESETEO ANUAL METODO ALTERNATIVO		HIPÓTESIS INICIAL CON RESETEO ANUAL METODO ALTERNATIVO	
CC.AA	ESTACIÓN	IA MÁX (l/m2.año)	IA MEDIA (l/m2.año)	R ²	¿AJUSTE?	R ²	¿AJUSTE?
GALICIA	ALOIA	1504,72	558,37	0,9638	ÓPTIMO	0,9781	ÓPTIMO
	MALPICA	1166,1	531,24	0,9833	ÓPTIMO	0,9463	ÓPTIMO
	O XIPRO	711,18	350,55	0,8788	ACEPTABLE	0,9087	ÓPTIMO
	VERIN	257,89	141,42	0,8338	ACEPTABLE	0,8782	ACEPTABLE
LA RIOJA	AGONCILLO	130,57	69,43	0,7248	NO ACEPTABLE	0,7707	NO ACEPTABLE
	CALAHORRA	150,48	72,57	0,483	NO ACEPTABLE	0,6393	NO ACEPTABLE
	PAZUENGOS	464,72	202,82	0,8483	ACEPTABLE	0,8589	ACEPTABLE
	CERVERA	58,54	30,09	0,7208	NO ACEPTABLE	0,8038	ACEPTABLE
CANARIAS	BUENAVISTA DEL NORTE	57,911	38,697	0,7883	NO ACEPTABLE	0,823	ACEPTABLE
	POZO NEGRO	24,076	14,082	0,6782	NO ACEPTABLE	0,7865	NO ACEPTABLE
	S. SEBASTIÁN DE LA GOMERA	45,695	30,904	0,3032	NO ACEPTABLE	0,7974	NO ACEPTABLE
	VECINDARIO	37,308	19,371	0,4252	NO ACEPTABLE	0,485	NO ACEPTABLE

Tabla 5-1 Resumen de resultados obtenidos en las hipótesis iniciales en las estaciones de cada Comunidad Autónoma (Galicia, La Rioja y Canarias)

EVALUACIÓN Y COMPARATIVA DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LLUVIA BATIENTE SOBRE FACHADAS ESTABLECIDOS PO LA NORMA ISO 15927-3				HIPÓTESIS DE MEJORA A. DATOS CADA 3 HORAS METODO ALTERNATIVO		HIPÓTESIS DE MEJORA B. DATOS CADA 12 HORAS METODO ALTERNATIVO	
CC.AA	ESTACIÓN	IA MÁX (l/m2.año)	IA MEDIA (l/m2.año)	R ²	¿AJUSTE?	R ²	¿AJUSTE?
GALICIA	ALOIA	1504,72	558,37	0,9788	ÓPTIMO	0,9905	ÓPTIMO
	MALPICA	1166,1	531,24	0,976	ÓPTIMO	0,9015	ÓPTIMO
	O XIPRO	711,18	350,55	0,9211	ÓPTIMO	0,8783	ACEPTABLE
	VERIN	257,89	141,42	0,9	ÓPTIMO	0,8472	ACEPTABLE
LA RIOJA	AGONCILLO	130,57	69,43	0,8728	ACEPTABLE	0,8409	ACEPTABLE
	CALAHORRA	150,48	72,57	0,8	ACEPTABLE	0,7331	NO ACEPTABLE
	PAZUENGOS	464,72	202,82	0,9038	ÓPTIMO	0,8581	ACEPTABLE
	CERVERA	58,54	30,09	0,783	NO ACEPTABLE	0,7649	NO ACEPTABLE
CANARIAS	BUENAVISTA DEL NORTE	57,911	38,697	0,8321	ACEPTABLE	0,8144	ACEPTABLE
	POZO NEGRO	24,076	14,082	0,8158	ACEPTABLE	0,7975	NO ACEPTABLE
	S. SEBASTIÁN DE LA GOMERA	45,695	30,904	0,8539	ACEPTABLE	0,8058	ACEPTABLE
	VECINDARIO	37,308	19,371	0,7736	NO ACEPTABLE	0,7468	NO ACEPTABLE

Tabla 5-2 Resumen de resultados obtenidos en las hipótesis de mejora en las estaciones de cada Comunidad Autónoma (Galicia, La Rioja y Canarias)

EVALUACIÓN Y COMPARATIVA DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LLUVIA BATIENTE		HIPÓTESIS INICIAL CON RESETEO ANUAL METODO ALTERNATIVO		HIPÓTESIS DE MEJORA 1. DATOS CADA 3 HORAS METODO ALTERNATIVO		HIPÓTESIS DE MEJORA 2. DATOS CADA 12 HORAS METODO ALTERNATIVO	
CC.AA	IA MEDIA (l/m2.año)	R ²	¿AJUSTE?	R ²	¿AJUSTE?	R ²	¿AJUSTE?
GALICIA	400,4	0,9178	ÓPTIMO	0,933	ÓPTIMO	0,9301	ÓPTIMO
LA RIOJA	93,7275	0,7823	NO ACEPTABLE	0,8399	ACEPTABLE	0,8372	ACEPTABLE
CANARIAS	25,7635	0,7915	NO ACEPTABLE	0,8492	ACEPTABLE	0,8404	ACEPTABLE

Tabla 5-3 Resumen de resultados obtenidos en cada Comunidad Autónoma (Galicia, La Rioja y Canarias) para cada hipótesis del estudio.

A la vista de los resultados obtenidos se podría englobar el nivel de aceptación de la norma y estimar para que estaciones sería adecuado el emplear un método u otro. Por ello se agrupan, a continuación, que método sería mejor emplear en función de la lluvia batiente media de referencia en cada estación:

- Para estaciones con valores de I_A media ($l/m^2 \cdot \text{año}$) superiores a 500, cualquier método de los anteriormente descritos ofrece una aproximación óptima entre ambos métodos
- Para estaciones con valores de I_A media ($l/m^2 \cdot \text{año}$) superiores a 300, cualquier método de los anteriormente descritos ofrece una aproximación óptima entre ambos métodos salvo el método inicial sin reiniciar o el método que emplea registros cada 12 horas, los cuales se considerarían aceptables, pero sin una elevada precisión.
- Para estaciones con valores de I_A media ($l/m^2 \cdot \text{año}$) comprendidos entre 100 y 300, el único método que garantiza un ajuste óptimo es el que realiza el método alternativo con datos instantáneos cada 3 horas, siendo los demás posibles de emplear con un ajuste aceptable, pero sin asegurar gran exactitud.
- Para estaciones con valores de I_A media ($l/m^2 \cdot \text{año}$) inferiores a 100, no se encontraría ningún método que ofreciera un ajuste óptimo de buena precisión. En algunos casos el empleo el mejor método considerado (con datos cada 3 horas) llegaría a ofrecer un ajuste aceptable, pudiendo en algunos casos no llegar a tal consideración.

En el caso de analizar la relación entre las estaciones dentro de una CC.AA:

- Para Comunidades Autónomas con valores de I_A media ($l/m^2 \cdot \text{año}$) superiores a 400, se puede verificar que a partir del método alternativo de cualquier estación podemos llegar hasta el método de referencia con una precisión óptima.
- Para Comunidades Autónomas con valores de I_A media ($l/m^2 \cdot \text{año}$) inferiores a 400, no se puede asegurar que en todas las estaciones se pueda obtener valores del método de referencia a partir del alternativo con buena precisión.

Por último, se deberían incorporar estas conclusiones a la norma para garantizar la validez y fiabilidad del método alternativo a la vez que limitar su uso en las regiones donde los valores de I_A no garanticen una buena convergencia entre los dos métodos.

Se ha realizado una ficha climatológica de cada estación donde se exponen todas las características y resultados obtenidos tras la realización del estudio. Quedan reflejados en la ficha de la estación los siguientes aspectos:

- Perfil de lluvia batiente según orientación de fachada. Orientación con mayor exposición a la lluvia batiente de referencia, máximo y mínimo valor de lluvia batiente.
- Coeficiente de ajuste obtenido para cada uno de los métodos aplicados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para una estación individual, concretamente la estación de Malpica en la Comunidad Autónoma de Galicia. Se puede observar la comparativa entre los dos métodos en cada una de las hipótesis planteadas. Además, se incluye una comparativa de la lluvia batiente sobre cada dirección de fachada en la que se aprecia cuáles son las orientaciones sobre las que este efecto es máximo y cuál mínimo.

Por último, se añaden los resultados de un caso adicional analizado, empleando datos instantáneos cada 3 horas sin realizar el reseteo anual de la serie del método alternativo. Con este método se verificaba de nuevo que lo correcto era reiniciar la serie anualmente, tal y como se comprobó con las hipótesis iniciales

Quedan de consulta los resultados obtenidos para cada una de las estaciones analizadas en el Anexo 5 “Resultados de estaciones meteorológicas”.

Estación de Malpica

- I_A (Método de referencia $l/m^2 \cdot \text{año}$)-Orientación de fachada ($^\circ$)

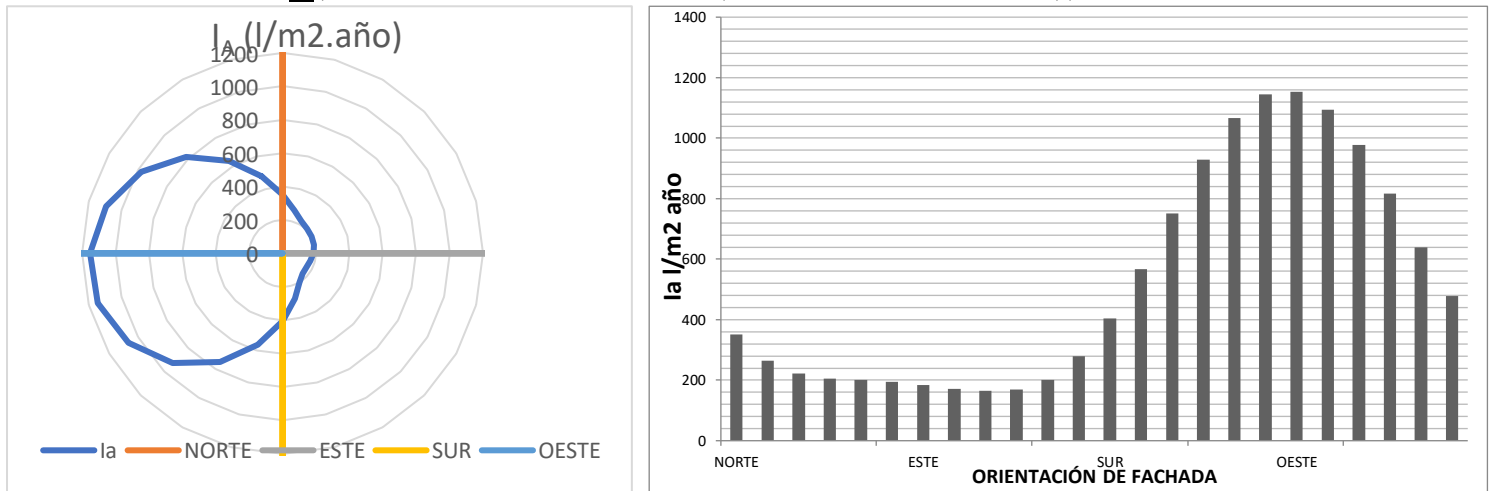


Figura 5.16 Lluvia batiente de referencia ($l/m^2 \cdot \text{año}$) sobre cada orientación de fachada

- Hipótesis inicial sin reseteo anual

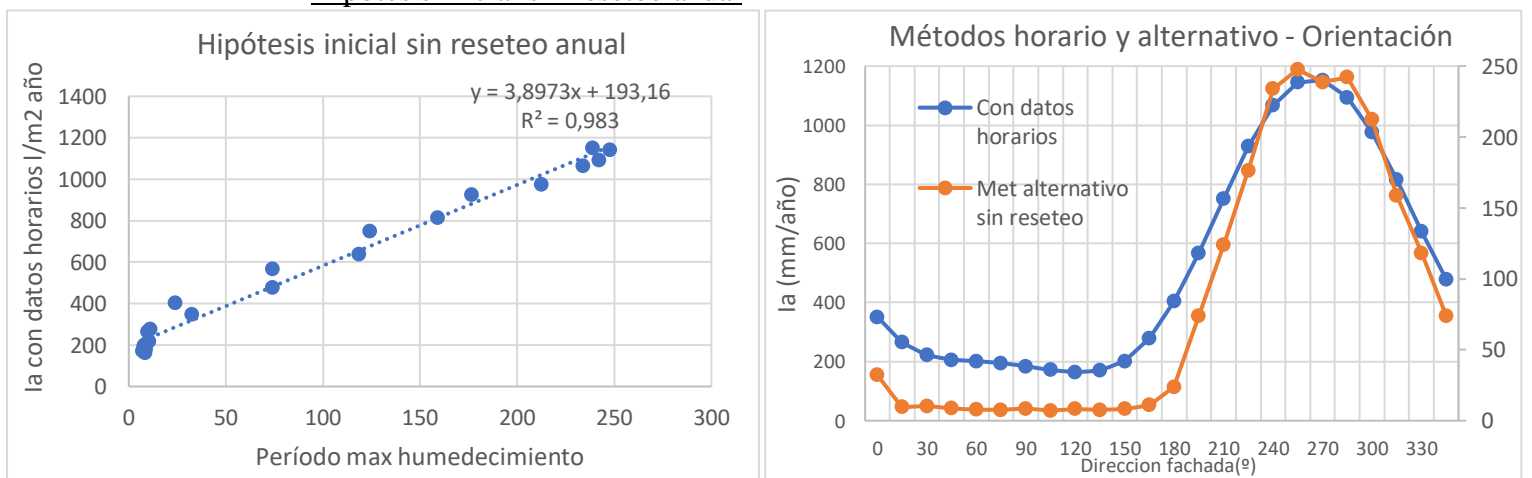


Figura 5.17 Comparativas método horario y alternativo sin reseteo anual y evolución según orientación.

- Hipótesis inicial con reseteo anual

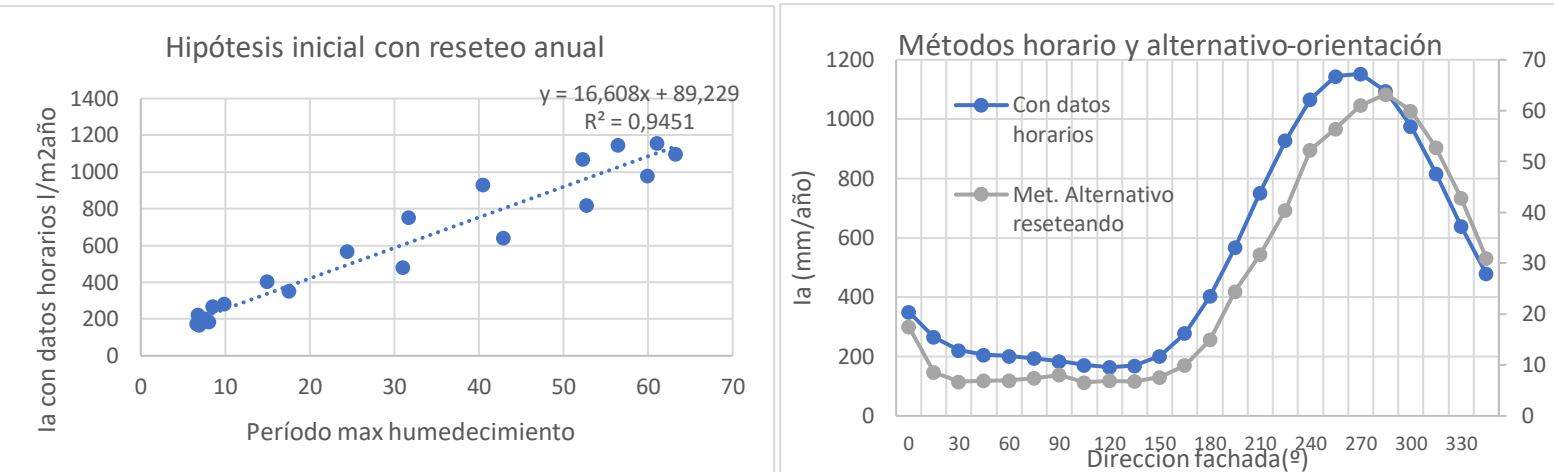


Figura 5.18 Comparativas método horario y alternativo con reseteo anual y evolución según orientación.

- Método alternativo sin reseteo. Datos instantáneos cada 3 horas

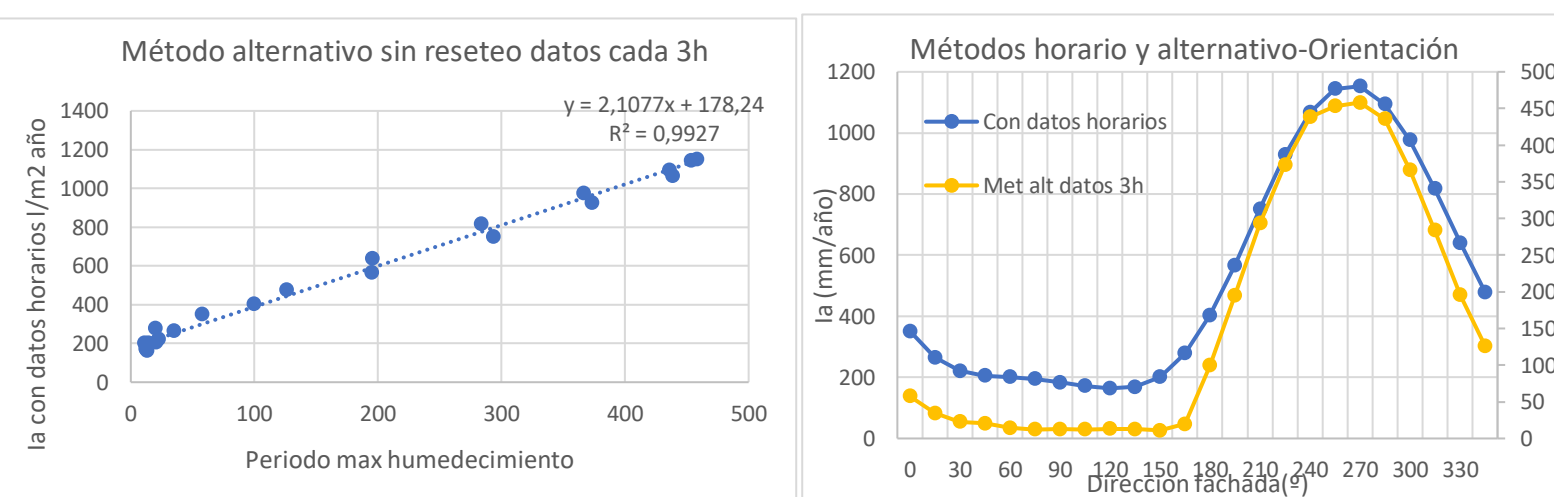


Figura 5.19 Comparativas método horario y alternativo con datos cada 3 horas sin reseteo anual y evolución según orientación.

- Hipótesis de mejora A. Datos instantáneos cada 3 horas con reseteo anual.

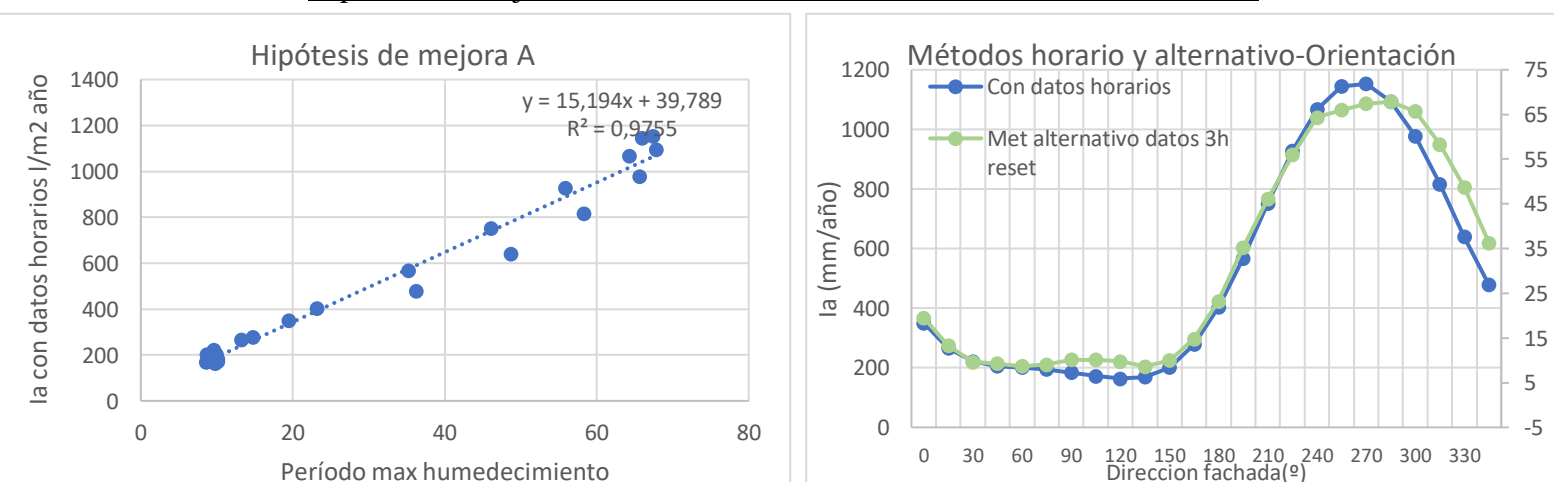


Figura 5.20 Hipótesis de mejora A y evolución según orientación

- Hipótesis de mejora B. Datos instantáneos cada 12 horas con reseteo anual

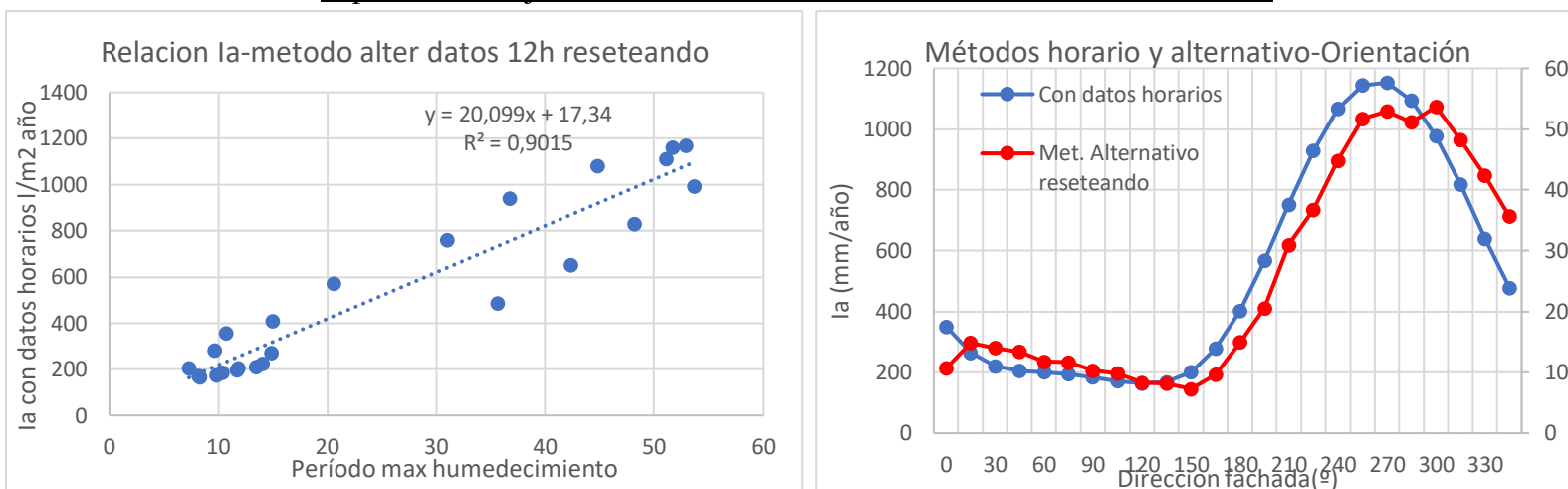


Figura 5.21 Hipótesis de mejora B y evolución según orientación

5.6. RELACIÓN ENTRE CTE Y NORMA UNE-EN-ISO 15927-3

En este apartado se pretende comparar la caracterización de la exposición obtenida mediante este estudio en las diferentes estaciones meteorológicas analizadas, con la establecida actualmente por el del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Por ello, para las 12 estaciones estudiadas, se calcula cuál sería el grado de impermeabilidad exigido por el CTE. Para obtener dicho grado, se asigna una zona eólica a cada estación (A, B o C) según el lugar en el que se ubica a partir de la figura 1.3 del apartado 1.

Una vez asignada la correspondiente zona eólica a cada estación, se necesita conocer la clase de entorno en la que se ubica el edificio y su altura, para obtener el grado de exposición al viento. En este caso se considera una altura de la estación inferior a 15 metros, sin interferencia con otros edificios para el cálculo del grado de exposición al viento (situación ésta coherente con las condiciones de las estaciones meteorológicas en las que se han recopilado los datos climáticos, a 10 m de altura en el caso de la velocidad de viento). Por último, se considera clase de entorno del edificio del tipo E0, correspondiente a un terreno despejado propio de las estaciones meteorológicas.

Por último, se asigna la zona pluviométrica a la estación según la figura 1.4 del apartado 1.

Conocido el grado de exposición al viento y la zona pluviométrica se obtiene el grado de impermeabilidad mínimo exigido. En la tabla siguiente se pueden observar los valores obtenidos para cada una de las estaciones.

**EVALUACIÓN Y COMPARATIVA DE LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LLUVIA
BATIENTE SOBRE FACHADAS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ISO 15927-3**

CC.AA	ESTACIÓN	IA MÁX (l/m ² .año)	ZONA EÓLICA	GRADO DE EXPOSICIÓN AL VIENTO	ZONA PLUVIOMÉTRICA	GRADO IMPERMEABILIDAD EXIGIDO SEGÚN CTE
GALICIA	ALOIA	1504,72	B	V2	II	4
	MALPICA	1166,1	C	V2	II	4
	O XIPRO	711,18	C	V2	II	4
	VERIN	257,89	B	V2	II	4
LA RIOJA	AGONCILLO	130,57	B	V2	IV	3
	CALAHORRA	150,48	B	V2	IV	3
	PAZUENGOS	464,72	B	V2	IV	3
	CERVERA	58,54	B	V2	III	3
CANARIAS	BUENAVISTA DEL NORTE	57,911	C	V2	III	3
	POZO NEGRO	24,076	C	V2	IV	3
	S. SEBASTIÁN DE LA GOMERA	45,695	C	V2	IV	3
	VECINDARIO	37,308	C	V2	IV	3

Tabla 5-4 Grado de impermeabilidad mínimo según el CTE para cada estación analizada.

Para las estaciones de Galicia, el grado de impermeabilidad exigido por el CTE sería de grado 4 y para el resto de estaciones se asignaría grado 3. Como se ha visto en el estudio, no en todas las estaciones se tiene una incidencia de lluvia batiente de la misma intensidad y el CTE no ofrece una caracterización adecuada ante este efecto.

Para comparar lo expuesto por el CTE y comparar estos resultados con el método de cálculo de lluvia batiente propuesto por la Norma, se muestra a continuación una gráfica en la que queda representada la máxima lluvia batiente para cada una de las estaciones (eje Y) respecto al valor que el CTE le asigna a dicha estación (eje X).

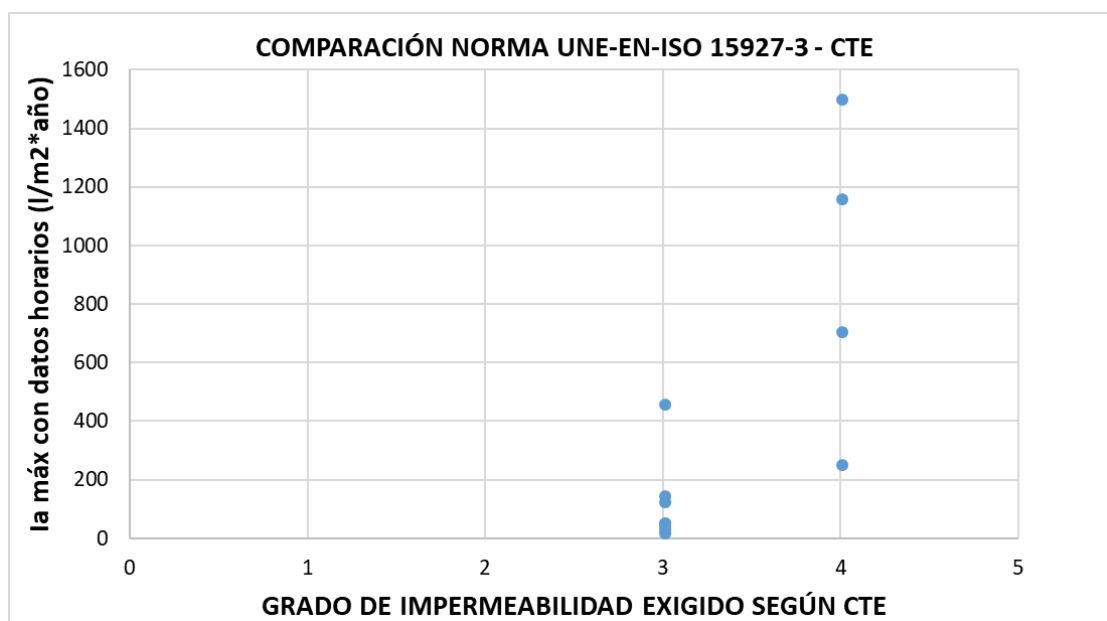


Figura 5.22 Relación entre lluvia batiente máxima (l/m².año) de cada estación analizada según la Norma UNE-EN ISO 15927-3 y el grado de impermeabilidad exigido en las mismas según el CTE.

Como se puede observar, el CTE asigna un mismo grado de impermeabilidad tanto a estaciones en las que se registran valores muy elevados de lluvia batiente como a estaciones en las que este efecto es de menor importancia, incluso inferior a los valores que se dan para grados de impermeabilidad requeridos de menor valor.

Según el CTE, se asignaría un grado de impermeabilización 4 a cualquier edificio situado próximo a cualquier estación de Galicia analizada, siendo que existen registros máximos de lluvia batiente desde los 200 l/m²*año hasta los 1500 l/m²*año.

Por otro lado, se observa que existen estaciones a las que se les asigna un grado de impermeabilidad de 3, las cuales tienen valores de lluvia batiente superiores a estaciones a las que se les asigna un grado de impermeabilidad de 4.

Este aspecto se podría ver con mayor precisión si se hubieran analizado mayor número de estaciones, pero que claramente pone de manifiesto la necesidad de emplear un nuevo método o estrategia para caracterizar el grado de exposición a la lluvia batiente que sustituya al presente CTE.

6. CONCLUSIONES

Actualmente, la Norma UNE-EN ISO 15927-3 proporciona unos métodos de cálculo de lluvia batiente validados (según recoge la propia norma), en diferentes ciudades de Reino Unido, todas ellas con una pluviometría similar, analizando únicamente 4 orientaciones de fachada que apenas proporcionan 12 puntos de evaluación. Con el presente estudio se ha logrado realizar un análisis más exhaustivo que el proporcionado por la norma, aplicándolo a 12 estaciones de tres Comunidades Autónomas diferentes y 24 orientaciones de fachada distintas en cada una de ellas.

Además, no solo se ha realizado un análisis más completo, sino que se ha logrado una aclaración exhaustiva sobre el método de aplicación de la Norma. Se concluye que, aunque no queda indicado de forma explícita, se debe hacer el cálculo del método alternativo teniendo en cuenta las humedades acumuladas durante cada año (de forma independiente), para hacer una comparación correcta con el método de referencia. De este modo se realiza un cálculo más verídico desde el punto de vista físico y que proporciona mejores resultados.

El presente estudio ha incluido también varias hipótesis de mejora de la actual Norma, llegando a obtener mejores resultados reduciendo considerablemente la cantidad de datos empleados. En algunas estaciones como en el caso de Galicia, de climatología similar a Reino Unido, se puede incluso modificar el procedimiento caracterizando las medias jornadas con una única toma de datos, obteniendo una relación entre los métodos de cálculo de gran precisión.

Se puede concluir también que, debido a las mejoras funcionales propuestas para el cálculo del método alternativo proporcionado por la Norma, el esfuerzo de cálculo se ha logrado disminuir notablemente, posibilitando y facilitando así el poder determinar la exposición a la lluvia batiente en emplazamientos donde no se dispone de datos con precisión horaria.

Con el presente estudio se ha querido verificar si dicha Norma podría resultar de correcta aplicación en el territorio español, caracterizado por una climatología diferente a la del Reino Unido. Una vez obtenidos los cálculos, se puede concluir que, del mismo modo que en Reino Unido, se garantiza una óptima equivalencia entre métodos en emplazamientos con gran importancia de precipitaciones y vientos, obteniendo resultados menos precisos en el caso de lugares donde estos fenómenos son menores.

Todo lo realizado en el presente estudio contribuye también a una mejora en la estimación de la solicitación por humedad prevista en las fachadas de los edificios, ya que, como se ha podido constatar, actualmente la exposición a la penetración de agua atmosférica no queda correctamente caracterizada con la aplicación del presente Código Técnico de la Edificación, lo que supone un riesgo tanto para el bienestar de las personas como para la durabilidad y eficiencia de los edificios.

Finalmente, se puede afirmar que se logra el cumplimiento del objetivo principal del mismo: validar la equivalencia de los procedimientos de cálculo establecidos por la Norma bajo diferentes condiciones, además de aclarar la correcta aplicación de la misma e implementar mejoras en su cálculo para que pueda llegar a resultar de aplicación en zonas donde no se disponga de alta precisión de registros meteorológicos.

7. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

Tras finalizar el estudio de las estaciones meteorológicas en las Comunidades Autónomas de Galicia, La Rioja y Canarias, se plantean posibles estudios futuros que contribuyan en la obtención de mejoras en la aplicación de la normativa actual en el territorio español.

- Análisis de mayor número de estaciones pertenecientes a las Comunidades Autónomas analizadas que verifiquen la aplicación de las mejoras propuestas
- Análisis de estaciones pertenecientes a otras comunidades autónomas que validen las conclusiones obtenidas en el presente estudio. Para ello será necesario disponer de estaciones que contengan datos climatológicos exhaustivos (o al menos horarios) durante un período de 10 años
- Variaciones en el cálculo del método alternativo con el objetivo de encontrar nuevas mejoras que logren la aplicación de la norma no sólo en emplazamientos con fuerte influencia de precipitaciones en vientos sino en cualquiera de ellos.
- Mejora de aplicación de la Norma y su cálculo del método alternativo variando los criterios de precipitación, viento y humedad relativa. En este estudio se han planteado mejoras relacionadas con la cantidad de toma de datos para el cálculo del método alternativo por lo que se plantea el poder obtener mejores resultados variando los criterios de lluvia, viento y humedad relativa con los que se caracterizan las medias jornadas en el cálculo del método alternativo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pérez-Bella, J.M., Domínguez-Hernández, J., del Coz-Díaz, J.J., Cano-Suñén, E. (2015). Aplicación al código técnico de la edificación de avances en el estudio de la exposición a la humedad en fachadas.
- [2] Broto, C. and Mostaedi, A. (2005). Enciclopedia Broto de patologías de la construcción.
- [3] CTE DB-HS Salubridad. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Salubridad.
- [4] Pérez-Bella, J.M., Domínguez-Hernández, J., Rodríguez-Soria, B., del Coz-Díaz, J.J., Cano-Suñén, E. (2015). Revisión y mejora de la caracterización del grado de impermeabilidad requerido por el CTE DB-HS1 para fachadas de edificación. Informes de la Construcción, 67(537): e059.
- [5] Blocken B, Carmeliet J. “A review of wind-driven rain research in building science”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2004. Vol.92-13 p.1079–1130. doi:10.1016/j.jweia.2004.06.003
- [6] CEN. Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. EN ISO 15927-3. Bruselas: European Committee for Standardization, 2009.
- [7] BSI. Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain. BS 8104. Londres: British Standards Institution, 1992.
- [8] AENOR. Comportamiento higrotérmico de los edificios – Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y lluvia. UNE-EN ISO 15927-3. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011.
- [9] Lista de estaciones - MeteoGalicia. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://www.meteogalicia.gal/observacion/rede/redeIndex.action>
- [10] Agricultura - Portal del Gobierno de La Rioja. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://www.larioja.org/agricultura/es/informacion-agroclimatica/consulta-personalizada>
- [11] Datos Agroclimáticos. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de http://www.gobiernodecanarias.org/agricultura/agricultura/temas/datos_agroclimaticos/estaciones.html
- [12] Teoría de los valores extremos (s.f.). En Wikipedia, consultado el 10 marzo de 2019.
- [13] Período de retorno (s.f.). En Wikipedia, consultado el 10 marzo de 2019.

- [14] Distribución de Gumbel (s.f.). En Wikipedia, consultado el 10 marzo de 2019.
- [15] Clasificación climática de Köppen. (2019). En Wikipedia, consultado el 10 de marzo de 2019.
- [16] Kotték, M., Grisier, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z. 15, 259-263.
- [17] Clima: Reino Unido. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://es.climate-data.org/europe/reino-unido-213/>
- [18] Clima: Galicia. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/galicia-241/>
- [19] Clima: La Rioja. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/la-rioja-278/>
- [20] Clima: Canarias. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/canarias-217/>
- [21] Organización Meteorológica Mundial. (s.f.). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://public.wmo.int/es>
- [22] SYNOP - Wikipedia, la enciclopedia libre. (2018, 7 diciembre). Recuperado 22 junio, 2019, de <https://es.wikipedia.org/wiki/SYNOP>
- [23] España. Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, 29 de marzo de 2006, núm. 74, p. 11816.
- [24] Coeficiente de determinación - Wikipedia, la enciclopedia libre. (2019, 12 mayo) [//es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_determinaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_determinaci%C3%B3n)